

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Módulo portátil para el suministro de energía a partir de baterías

MEMORIA

Autor: Antoni Vallejó Tomàs
Director: Emilio Hernández Chiva
Convocatoria: Febrero 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

Este proyecto trata de encontrar una solución a una necesidad actual mediante la aplicación del método de gestión de proyectos. Se ha limitado el alcance del proyecto a encontrar la mejor solución que permita reutilizar baterías de vehículos eléctricos que en un futuro próximo van a tener que ser cambiadas. La pérdida de carga que estas han sufrido molesta al propietario del vehículo eléctrico, pero estas baterías todavía son fiables y pueden seguir funcionando durante años.

La mejor cualidad que tienen las baterías de litio es que son relativamente fáciles de transportar (respecto a la red eléctrica convencional), así que esto se ha usado para buscar la necesidad que exigía esta portabilidad. En este caso se trata de una feria nocturna sin posibilidad de conectarse a la red eléctrica municipal, puesto que no se dispone de la infraestructura necesaria para hacerlo, y se plantea qué formas alternativas hay de alimentar esta feria.

Hasta ahora esta feria ha utilizado generadores portátiles de gasolina y gasóleo, que generan emisiones de gases contaminantes y contaminación acústica. La solución que se busca va a cubrir también esta necesidad medioambiental.

Sumario

SUMARIO	4
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Finalidad del proyecto	9
1.2. Objetivos del proyecto	9
1.3. Alcance.....	9
1.3.1. Del producto	9
1.3.2. Del trabajo de ingeniería.....	9
2. PROBLEMÁTICA	10
3. ESTUDIO DE MERCADO – ESTADO DEL ARTE	11
3.1. Sistemas de energía solar portátiles	11
3.1.1. Trailer-Watt Solar Trailer (Ecosun innovations) [6]	11
3.1.2. Green Tow GT1932 [7]	12
3.1.3. Green Tow GT3049 [7]	13
3.1.4. Mobil Watt Solar Container [8].....	14
3.2. Sistemas de almacenamiento de energía	15
4. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	16
4.1. Variables del sistema	16
4.1.1. Potencia máxima proporcionable (kW)	16
4.1.2. Tiempo de funcionamiento máximo del sistema solución (h):	16
4.1.3. Capacidad total de almacenamiento (kWh):	16
4.1.4. Voltaje de salida (V):	16
4.1.5. Generación de energía diaria (kWh):	16
4.1.6. Número de paneles solares:.....	16
4.1.7. Dimensiones del producto (m):.....	17
4.1.8. Peso del producto (T):	17
4.1.9. Facilidad de transporte del producto:	17
4.1.10. Tiempo requerido para el montaje (h):	17
4.1.11. Operarios necesarios (número de operarios):	17
4.1.12. Tiempo necesario para cargar las baterías por completo (h):	17
4.2. Restricciones (condicionantes del entorno)	17
4.2.1. Potencia máxima consumida.....	18
4.2.2. Duración de la feria	19
4.2.3. Tiempo de funcionamiento de cada aparato.....	19

4.2.4.	Energía consumida por la feria	19
4.2.5.	Voltaje de los aparatos de la feria.....	20
4.2.6.	Irradiación global horizontal media diaria	20
4.2.7.	Eficiencia de los paneles fotovoltaicos	20
4.2.8.	Espacio de instalación en la feria	20
4.2.9.	Dificultad de acceso	23
4.3.	Especificaciones técnicas previstas	25
4.4.	Criterios de filtro.....	26
4.4.1.	Energía suministrada	26
4.4.2.	Potencia máxima.....	26
4.5.	Criterios de valoración	27
4.5.1.	Carga sobrante	27
4.5.2.	Fiabilidad.....	27
4.5.3.	Variación de tensión	28
4.5.4.	Seguridad.....	28
4.5.5.	Tiempo de montaje.....	29
4.5.6.	Operarios necesarios	29
4.5.7.	Peso	29
4.5.8.	Maniobrabilidad	30
4.5.9.	Medio de transporte del sistema.....	31
4.5.10.	Dimensiones en funcionamiento.....	31
4.5.11.	Tiempo en estado desplegado	32
4.5.12.	Impacto visual.....	32
4.5.13.	Facilidad de uso	32
4.5.14.	Contaminación acústica	33
4.5.15.	Contaminación atmosférica	33
4.5.16.	Coste.....	34
5.	POSIBLES SOLUCIONES	35
5.1.	Presentación de las alternativas	35
5.1.1.	Baterías.....	35
5.1.2.	Paneles solares	39
5.1.3.	Controlador de carga solar.....	39
5.1.4.	Cargador de baterías	40
5.1.5.	Inversor de baterías.....	40
5.1.6.	Remolque	40
5.2.	Alternativa 1: Batería de media capacidad con carga mediante paneles solares de gama media.....	41
5.2.1.	Baterías.....	41
5.2.2.	Paneles solares	41

5.2.3.	Controlador de carga solar	43
5.2.4.	Remolque	43
5.2.5.	Estimación económica	44
5.3.	Alternativa 2: Batería de alta capacidad con carga mediante paneles solares de gama alta	45
5.3.1.	Baterías	45
5.3.2.	Paneles solares.....	45
5.3.3.	Controlador de carga solar	47
5.3.4.	Remolque	47
5.3.5.	Estimación económica	48
5.4.	Alternativa 3: Batería de alta capacidad recargable en puntos de carga de vehículos eléctricos	48
5.4.1.	Baterías	48
5.4.2.	Carga de las baterías.....	49
5.4.3.	Inversor cargador	50
5.4.4.	Remolque	52
5.4.5.	Estimación económica	53
6.	ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS	54
6.1.	Comparación de las alternativas por criterios	54
6.1.1.	Criterio 1: Carga sobrante.....	54
6.1.2.	Criterio 2: Fiabilidad	54
6.1.3.	Criterio 3: Variación de la tensión.....	56
6.1.4.	Criterio 4: Seguridad	57
6.1.5.	Criterio 5: Tiempo de montaje	57
6.1.6.	Criterio 6: Operarios necesarios	58
6.1.7.	Criterio 7: Peso.....	58
6.1.8.	Criterio 8: Maniobrabilidad	59
6.1.9.	Criterio 9: Medio de transporte	59
6.1.10.	Criterio 10: Dimensiones en funcionamiento	60
6.1.11.	Criterio 11: Tiempo desplegado	60
6.1.12.	Criterio 12: Impacto visual	61
6.1.13.	Criterio 13: Facilidad de uso	61
6.1.14.	Criterio 14: Contaminación acústica.....	62
6.1.15.	Criterio 15: Contaminación atmosférica	62
6.1.16.	Criterio 16: Coste	63
6.2.	Pesos de los criterios.....	63
6.3.	Matriz multicriterio.....	65
6.4.	Posibles mejoras de la solución elegida.....	66

6.4.1.	Facilidad de uso	67
6.4.2.	Seguridad.....	69
6.4.3.	Carga sobrante	69
6.4.4.	Fiabilidad.....	69
7.	SOLUCIÓN FINAL	70
7.1.	Baterías	70
7.2.	Carga de las baterías	70
7.3.	Inversor cargador.....	71
7.4.	Convertidor	72
7.5.	Remolque.....	72
7.6.	Instalación	74
8.	VIABILIDAD ECONÓMICA	77
8.1.	Costes	77
8.1.1.	Costes de ingeniería	77
8.1.2.	Costes de los componentes.....	77
8.1.3.	Costes de montaje y operación	78
8.2.	Presupuesto.....	79
8.3.	Modelo económico-financiero	79
8.3.1.	Ingresos	79
8.3.2.	Análisis de rentabilidad	80
9.	VIABILIDAD AMBIENTAL	81
9.1.	Emisiones de gases contaminantes	81
9.2.	Contaminación acústica en la feria.....	81
9.3.	Impacto visual	82
10.	PROGRAMACIÓN	83
11.	BIBLIOGRAFÍA	84

1. Introducción

1.1. Finalidad del proyecto

Con el reciente incremento de las ventas de vehículos eléctricos – en 2018 aumentaron un 63 % respecto al año anterior [1]– las empresas que los producen empiezan a descubrir otro nuevo reto: encontrar nuevos usos para las baterías retiradas de estos vehículos [2].

La finalidad del proyecto es contribuir a encontrar un segundo uso para estas baterías antes de empezar el costoso proceso de reciclado de las mismas.

1.2. Objetivos del proyecto

Este proyecto pretende aprovechar estas baterías, generalmente reemplazadas al perder una proporción de su carga máxima aproximadamente de un 20 a un 30 % [3], las cuales todavía son útiles para usos no tan exigentes.

Las baterías entonces se van a utilizar como parte de la solución, que consiste en diseñar un producto o un sistema capaz de proporcionar energía de forma portátil a mercadillos artesanales.

1.3. Alcance

1.3.1. Del producto

El producto se centrará en proporcionar una solución particular para una sola feria, con el objetivo de no complicar en exceso el diseño con demasiadas variables desconocidas y el de conocer mejor el entorno y las condiciones externas. En este caso el alcance se limita a suministrar energía eléctrica de forma correcta a la feria nocturna celebrada cada año en Porto Cristo durante toda su duración y durante el montaje de esta (es decir unas horas antes).

1.3.2. Del trabajo de ingeniería

En cuanto al alcance del trabajo, está limitado al diseño de la solución. Esto significa que las fases de construcción y explotación del proyecto no se van a llevar a cabo, es decir, el proyecto no va a trasladarse a la realidad física y consecuentemente tampoco se van a llevar a cabo los procesos de distribución, consumo ni retiro del producto o solución.

2. Problemàtica

Cada semana se realizan miles de mercadillos por todo el país. Los hay que ofrecen todo tipo de productos: agropecuarios, pastelería y dulces, ropa y complementos, o incluso una gran variedad de puesto de comida al estilo *Street food*.

La mayoría de estos mercadillos no suponen ningún consumo eléctrico, como pueden ser los productos agropecuarios o artesanales en mercadillos de día. Sin embargo, otros muchos sí requieren una fuente de corriente eléctrica para alimentar sus frigoríficos, congeladores, planchas y otros aparatos eléctricos debido al tipo de producto que ofrecen a los consumidores. Otro caso es el de las ferias nocturnas, que además necesitan corriente para iluminar los stands.

Por lo general, esto lo soluciona el Ayuntamiento de la zona donde se tiene lugar la feria mediante la instalación de enchufes que permiten conectarse a la red eléctrica pública del pueblo o ciudad, pero no siempre es así.

Sucede que, en los casos de ferias que no se celebran tan frecuentemente, muchas veces el Ayuntamiento no puede proporcionar corriente a toda la feria. Esto puede deberse a limitaciones de la misma red pública, de la propia economía o interés del Ayuntamiento o de la zona en la que monta la feria.

Las únicas soluciones a las que pueden recurrir los feriantes en este caso (y es algo de lo que ya avisa el Ayuntamiento) son alimentar con una batería su propio stand (en el caso de tener un consumo relativamente pequeño) o recurrir a un generador gasolina o diésel de electricidad para alimentar los aparatos necesarios para realizar la feria. De esta forma no existe ningún control sobre los numerosos generadores que alimentan la feria, ocasionando molestias de sonido y originando una contaminación atmosférica adicional a si se utilizase energía de la propia red eléctrica.

Este es el caso de la feria nocturna de Porto Cristo. Porto Cristo es un pueblo del levante de Mallorca que forma parte del municipio de Manacor. Cada segundo viernes del mes de julio se celebra esta feria, en la cual se venden productos artesanos, bisutería y varias antigüedades.

El Ayuntamiento de Manacor, responsable de esta feria, no proporciona ninguna fuente de energía. De hecho, invita a los feriantes a llevar su propia fuente de generación, de las cuales simplemente exige que cumplan la normativa europea de ruido [5].

Por lo tanto, la problemática a resolver en la feria de Porto Cristo es la demanda energética de la totalidad de la feria en un sistema portátil instalable en la zona en la que se realiza esta.

3. Estudio de mercado – Estado del arte

3.1. Sistemas de energía solar portátiles

La primera solución que se imagina es un sistema de generación de energía eléctrica con paneles solares, puesto que se encuentra en una zona geográfica con unas condiciones de radiación solar óptimas. Sin embargo, al tratarse de una feria nocturna, este tendrá que poder almacenar toda la energía para el abastecimiento de la feria. Estas son las opciones que se han encontrado:

3.1.1. Trailer-Watt Solar Trailer (Ecosun innovations) [6]

Se trata de un remolque que puede ser transportado por un vehículo civil. Este dispone de 18 paneles fotovoltaicos de alta eficiencia montados de forma que pueden ser plegados para facilitar su transporte. Estos pueden generar hasta 6.5 kW, aunque como se verá más adelante la irradiación global de la zona limita la potencia de funcionamiento drásticamente. Además, incorpora un sistema de almacenamiento de energía con una capacidad de 10 kWh utilizables.

Las dimensiones y peso del remolque son bastante normales para un remolque de vehículo utilitario, con solo 5 metros de largo, poco más de 2 de ancho y un peso de 2.1 toneladas.

Cuando está extendido, el remolque mide 5 metros de largo y 6 de ancho.



Fig. 4.1. Remolque Ecosun plegado y desplegado.

Este tipo de remolque es bastante popular, sobre todo para usos de construcción, explotación de minas, electrificación rural o incluso usos militares. Existen otros remolques con las mismas especificaciones técnicas de otras marcas también.

No obstante, no existen muchos remolques más grandes que este, ya que llega un punto en que el sistema deja de ser portátil. Una de las pocas marcas que ofrecen remolques más

grandes es la de los siguientes dos remolques.

3.1.2. Green Tow GT1932 [7]

El principio del remolque es el mismo que el anterior: tiene un sistema de almacenamiento que carga mediante el conjunto de paneles fotovoltaicos, los cuales se pueden plegar para facilitar (o simplemente permitir) el transporte del remolque.

Este modelo en concreto tiene 24 paneles que pueden llegar a producir hasta 3.2 kW (un poco extraño, ya que los modelos de paneles más nuevos de las mismas dimensiones que estos pueden llegar a producir más del doble que estos) y la capacidad de las baterías puede variar desde los 7 hasta los 70 kWh según se necesite.



Fig. 4.2. Remolque Green Tow GT1932.

Como se puede ver en la Fig. 4.2., este remolque ya no se puede mover con un vehículo utilitario. Mide 8 metros de largo por 2 de ancho, y el vendedor no especifica su peso (seguramente varía considerablemente según la capacidad de las baterías escogida).

3.1.3. Green Tow GT3049 [7]



Fig. 4.3. Remolque Green Tow GT3049.

Es el modelo de remolque más grande de la marca y el más grande que se ha encontrado en el mercado.

Sin embargo, es capaz de generar hasta 4.8 kW con sus 36 paneles solares y puede equipar unas baterías de hasta 70 kWh.

Con los paneles plegados mide 12 metros de largo por 2 de ancho, cosa que limita considerablemente su movilidad. Tampoco se especifica su peso, supuestamente por la capacidad a elegir de las baterías.

3.1.4. Mobil Watt Solar Container [8]



Fig. 4.4. Mobil Watt Solar Container (Ecosun innovations) desplegado

Ya no se trata de un remolque en sí, sino de un contenedor en el cual se guardan las placas solares que se despliegan en la zona de operación. La desventaja de ser un contenedor es que no es tan fácil de transportar, ya que se debe cargar y descargar de un camión con una grúa. La ventaja que tiene es que produce bastante más energía que el resto de opciones.

Tiene desde 30 hasta 174 paneles fotovoltaicos que pueden producir hasta 300 W cada uno, con lo cual en total puede producir de 9 a 52 kW (la cantidad de paneles varía según las necesidades del comprador).

Las capacidades también son variables, empezando por 15 kWh hasta los 90 kWh.

La característica de este sistema es que el despliegue de las placas solares tiene que ser en línea, como se muestra en esquema de la siguiente Fig. 4.4.



Fig. 4.4. Mobil Watt Solar Container (Ecosun innovations) desplegado

Como se puede ver también en la Fig. 4.4., las dimensiones son variables, entre 23 y 35 metros de largo y entre 6.44 y 12.5 metros de ancho. Las dimensiones del contenedor con las placas plegadas dentro son 6 metros de largo y casi 2.5 de ancho (las medidas estándares de un contenedor de 20 pies ISO)

El peso total del contenedor con las placas solares oscila entre 6 y 11 T.

3.2. Sistemas de almacenamiento de energía

Se le ocurre a uno entonces la posibilidad de solamente transportar la energía, y no el sistema de generación. Esto consistiría en otro tipo de remolque o vehículo de similar movilidad que cargaría con un sistema de baterías capaces de ser cargadas en puntos de carga de vehículos eléctricos (o de otras formas, lo importante es que tiene que ser cargadas externamente) que luego proporcionarían esta electricidad a la feria.

Sin embargo, después de una búsqueda intensiva por la web, no se ha encontrado nada parecido a esto, pese a la gran funcionalidad que se cree que puede tener.

4. Caracterización del problema

4.1. Variables del sistema

Las variables del sistema son aquellos parámetros cuyo valor condiciona de alguna manera al sistema solución que resuelve el conflicto.

En esta sección se explicará de qué se trata cada variable y cómo afecta al sistema solución.

4.1.1. Potencia máxima proporcionable (kW)

Es la potencia máxima capaz de suministrar por el producto o sistema solución. En este caso tiene que ser mayor que la potencia máxima que puede consumir la feria.

4.1.2. Tiempo de funcionamiento máximo del sistema solución (h):

Es la capacidad del sistema de mantener la energía eléctrica a suministrar durante un tiempo. Generalmente, las baterías de iones de litio pierden entre un 2 y un 8 % de carga cada mes (depende principalmente de la temperatura a la que se encuentren), por lo que en principio no será un problema.

4.1.3. Capacidad total de almacenamiento (kWh):

Es la capacidad total de energía del sistema solución. Esta variable es de suma importancia y la solución final dependerá directamente de si la capacidad de almacenamiento es suficientemente grande o no.

4.1.4. Voltaje de salida (V):

Es el voltaje que proporciona a los aparatos de la feria.

4.1.5. Generación de energía diaria (kWh):

Es la cantidad de energía que puede generar el sistema solución en un día. Esta variable depende de otras variables como la cantidad de paneles solares que tiene (si es que tiene), de la eficiencia de estos y de la restricción de irradiación global en Porto Cristo.

4.1.6. Número de paneles solares:

La cantidad de paneles solares de los que dispone el sistema.

4.1.7. Dimensiones del producto (m):

En el caso de que la solución final se trate de un producto las dimensiones de este se refieren a la longitud, anchura y altura de este.

4.1.8. Peso del producto (T):

En el caso de que la solución final se trate de un producto el peso de este también es una variable del sistema solución, debido a que se trata de una solución portátil que hay que transportar hasta el lugar en el que se celebra la feria.

4.1.9. Facilidad de transporte del producto:

A parte de las dimensiones y del peso del producto hay que tener en cuenta si puede ser transportado por un vehículo utilitario, por un camión o si se puede mover por sí solo.

4.1.10. Tiempo requerido para el montaje (h):

Es el tiempo necesario para montar el sistema solución y tenerlo a punto para funcionar utilizando el número mínimo de operarios que puedes desplegarlo.

4.1.11. Operarios necesarios (número de operarios):

El número de operarios o personal dedicado a montar el sistema necesario para poderse llevar a cabo. En muchas ocasiones una única persona no puede realizar algunas operaciones. Un ejemplo sería el tratar con paneles solares de unas ciertas dimensiones.

4.1.12. Tiempo necesario para cargar las baterías por completo (h):

Es el tiempo mínimo en el que se podrán cargar las baterías del sistema, ya sea de forma autónoma o mediante una fuente externa de energía eléctrica. Esta variable puede depender de la capacidad de total de almacenamiento de energía, de la eficiencia de las placas solares, de la cantidad de placas montadas, de la potencia de la estación de carga, etc.

4.2. Restricciones (condicionantes del entorno)

Una restricción es un límite para una variable que impide al equipo de proyecto asignarle cualquier valor. En este caso como se trata de una solución aplicada a una feria de la que no podemos cambiar las características, estas se convierten en condicionantes del entorno que van a limitar los valores válidos de las variables.

4.2.1. Potencia máxima consumida

La potencia máxima consumida por la feria es una restricción de la variable potencia máxima proporcionable por el sistema. La potencia proporcionable tendrá que ser mayor que la consumida, con un porcentaje de seguridad.

Para calcular la potencia máxima de la feria se ha realizado un estudio de campo en la edición de la feria nocturna de Porto Cristo de este año, 2019. En este se anotaron todos los aparatos eléctricos que consumían corriente (de generadores o baterías) con sus respectivos consumos. La suma de todas las potencias da como resultado esta potencia máxima consumida. En la siguiente Fig. 5.1. se puede ver la potencia consumida por cada aparato y la potencia total consumida máxima al final.

Aparato	Potencia individual (W)	Cantidad	Potencia conjunto (W)	Tiempo de funcionamiento (h)	Consumo conjunto (Wh)
Bombilla LED	5	228	1140	4	4560
Bombilla de bajo consumo	15	151	2265	4	9060
Foco tipo 1	50	2	150	4	600
Foco tipo 2	20	18	360	4	1440
Foco tipo 3	150	4	600	4	2400
Tira de Leds	20	3	60	5	300
Máquina 1	160	2	320	4	1280
Máquina 2	1800	1	1800	4	7200
Freidora	2000	2	4000	3	12000
Nevera	120	1	120	10 ¹	1200
Nevera pequeña	90	5	450	10 ¹	4500
Congelador	120	4	480	10 ¹	4800
Congelador pequeño	90	3	270	10 ¹	2700
Batidora	1000	2	2000	0.5	1000
Exprimidora	160	1	160	1	160
Plancha para crepes	2200	1	2200	2	4400
Plancha congeladora	800	1	800	4	3200
Altavoz	100	1	100	5	500
TOTAL	-	-	17275	-	61300

Fig. 5.1. Tabla de consumos de cada aparato de la feria nocturna

¹ La cantidad más alta de horas de funcionamiento se debe a que estos aparatos requieren empezar a funcionar con antelación para poder recuperar las temperaturas óptimas de conservación de los alimentos

La potencia máxima consumida por la feria es de 17.3 kW.

4.2.2. Duración de la feria

No solo se trata de la duración de la feria, sino que es el período desde que se empieza a consumir electricidad (por parte de los stands) hasta que se deja de consumir. Esta restricción afecta la libertad de la variable tiempo de funcionamiento del sistema solución, aunque, como se trata de un evento de poca duración (aunque la feria empieza a las 19 y termina a las 24, se estima que se empieza a necesitar electricidad para refrigerar congeladores y neveras desde hasta unas 5 horas antes), en principio no limitará demasiado el valor de la variable susodicha. La duración de la feria (y su preparación), en cualquier caso, se considera de 10 horas y debido a esto la variable tiempo de funcionamiento máximo debe de ser mayor que 10 horas.

4.2.3. Tiempo de funcionamiento de cada aparato

Es el tiempo durante el cual cada aparato de la feria está consumiendo energía. Esta restricción afecta directamente sobre la energía total consumida por la feria y consecuentemente la capacidad que debe tener el sistema solución.

El cálculo del tiempo de funcionamiento se ha hecho a la par que se apuntaban los aparatos de la feria y sus potencias, aproximando el tiempo de funcionamiento según el uso que se le daba en cada stand.

En ocasiones el tiempo de funcionamiento de un aparato es mayor que la duración de la feria en sí, que es de 5 horas. Este es el caso de los frigoríficos y congeladores, que necesitan empezar a funcionar con antelación para alcanzar sus condiciones normales de trabajo.

Los tiempos de funcionamiento de cada aparato aparecen detallados en la Fig. 5.1.

4.2.4. Energía consumida por la feria

Se trata del consumo total de energía eléctrica de la feria. Se ha calculado a partir de las potencias de cada aparato y su tiempo de funcionamiento (ambas restricciones detalladas anteriormente).

Se pueden ver los consumos de cada aparato y el consumo de energía eléctrica total en la anterior Fig. 5.1. La energía consumida por la feria es de 61.3 kWh.

4.2.5. Voltaje de los aparatos de la feria

Todos los aparatos utilizados utilizaban el estándar europeo de 220 V excepto algunas excepciones de stands alimentados por baterías de coches eléctricos o *powerbanks*, que por conveniencia utilizaban luces de 5 o 12 V.

4.2.6. Irradiación global horizontal media diaria

La irradiación es la exposición de una superficie a la acción de rayos electromagnéticos. En la Tierra, el Sol es el principal causante de dicha irradiación. Existen tres tipos de irradiación: directa, difusa y global. La global es la suma de las otras 2, y en consecuencia mide la irradiación total que incide sobre una superficie que apunta directamente hacia el sol.

En este caso se considera la irradiación global sobre una superficie colocada de forma horizontal (es decir paralela al suelo), que siempre será menor que sobre una superficie totalmente perpendicular a los rayos solares.

Esta es, durante el mes de julio en la zona de Porto Cristo, de 7.9 kWh/m² [9].

4.2.7. Eficiencia de los paneles fotovoltaicos

Normalmente estos son capaces de convertir entre un 15 y un 17 % de la energía solar recibida, mientras que los paneles más eficientes son capaces de alcanzar hasta un 23 % de eficiencia.

4.2.8. Espacio de instalación en la feria

Esta restricción mide el espacio del que se dispone en la zona donde se lleva a cabo la feria y la superficie a la que se tiene que suministrar corriente eléctrica. Para hacerlo se va a analizar mediante los planos que proporciona la Sede Electrónica del Catastro (los cuales deberían estar actualizados y ser bastante precisos).

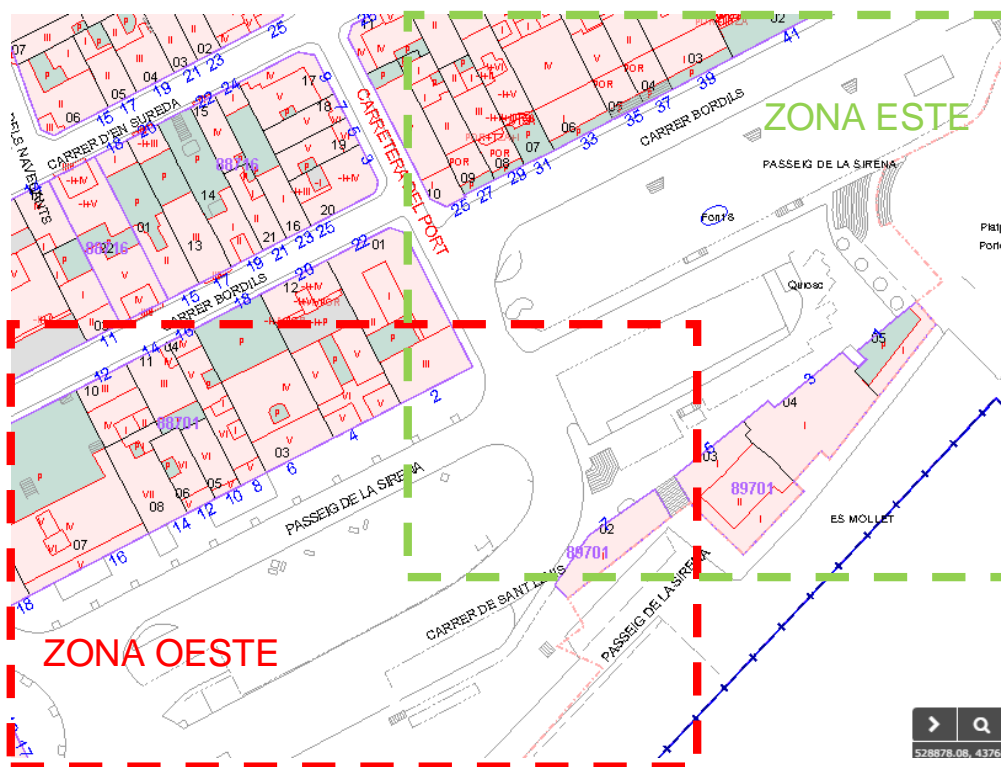


Fig. 5.2. Zona en la que tiene lugar la feria nocturna de Porto Cristo [10]

Como se puede ver claramente en la Fig. 5.2., la zona elegida por el Ayuntamiento para realizar la feria nocturna es perfecta para esta, ya que abarca dos plazas de una extensión considerable.

Esta zona está en el puerto de Porto Cristo, justo enfrente del mar.

En esta figura se pueden ver también las zonas este y oeste de la feria, separadas para poder representar los elementos de la feria y las dimensiones del lugar más claramente en las siguientes figuras.

A continuación, se representa la disposición detalladamente de la edición de la feria del 2019. Para una mayor claridad en las indicaciones y los detalles se ha separado el mapa anterior en dos zonas, la oeste y la este.

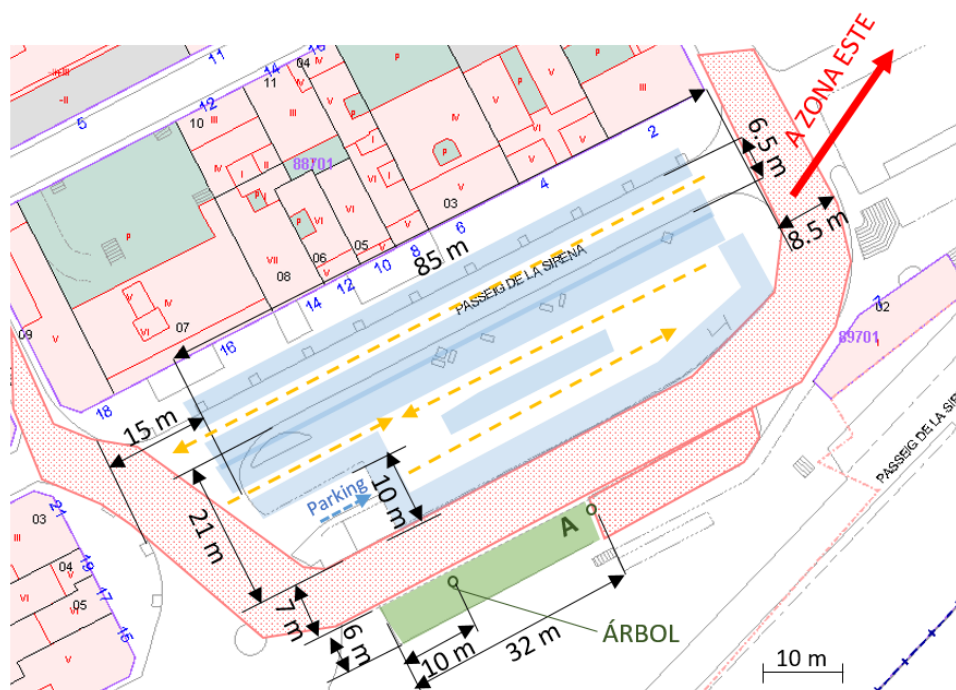


Fig. 5.3. Plano de la zona oeste de la feria nocturna.

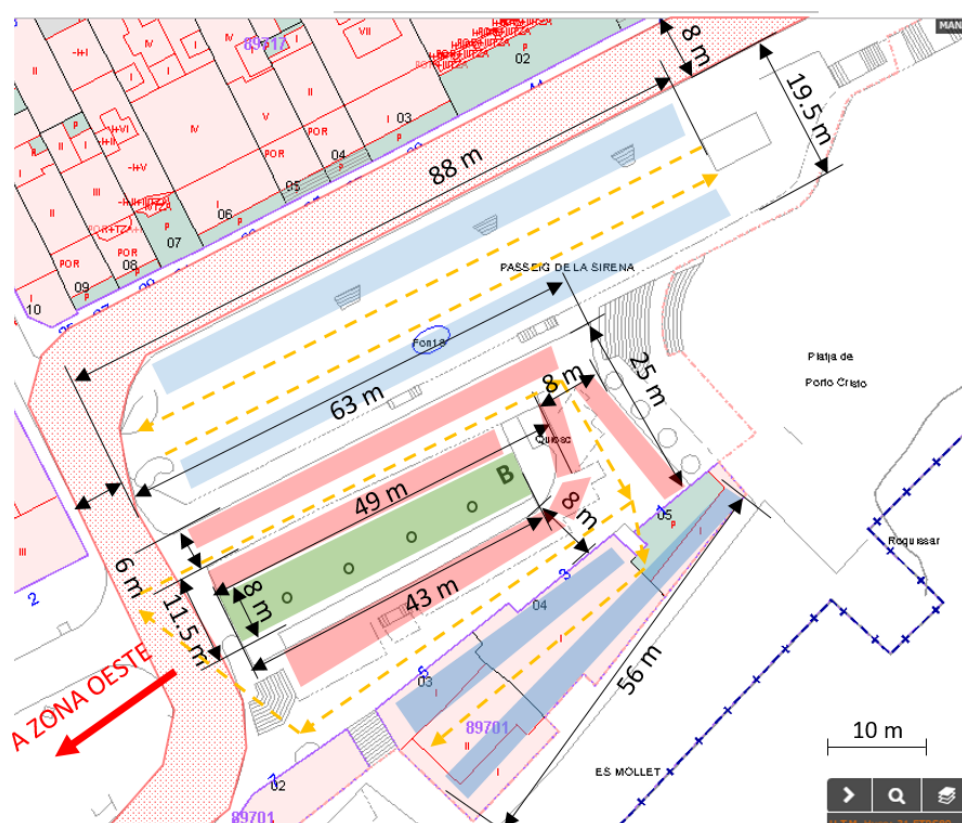


Fig. 5.4. Plano de la zona este de la feria nocturna.

En los dos planos anteriores (Fig. 5.3. y Fig. 5.4.) se han acotado las dimensiones más relevantes de cada zona. Las zonas azules rectangulares de ambas figuras son los espacios que ocupan los stands que no utilizan aparatos de un consumo alto, puesto que normalmente lo único que utilizan son luces para alumbrar sus productos. Las zonas rojas rectangulares de la Fig. 5.4. son los espacios que ocupan stands de comida caliente, que son los puestos con un consumo más alto debido al uso de frigoríficos, congeladores, freidoras y otros. Las líneas amarillas discontinuas representan los flujos de gente paseando entre los diferentes puestos de la feria. Las zonas de puntos rojos en ambas figuras resaltan la calle principal, la cual no puede ser ocupada por ninguna instalación (debido a medidas de emergencia y también para dejar una vía de carga y descarga del material de los stands).

Sin tener que cambiar la orientación de los stands, se pueden ver dos sitios disponibles para la instalación del sistema solución, representados por rectángulos verdes en las dos figuras:

4.2.8.1. Zona A (Fig. 5.3.)

La zona A mide 32 metros de largo por 6 de ancho, pero tiene el inconveniente de que hay un árbol a 10 metros del lado izquierdo. Si se descuenta el espacio que quita el árbol se termina con una superficie rectangular usable de 32 metros de largo por aproximadamente 3 de ancho o con una superficie de 21 metros de largo por 6 de ancho y una de 10 de largo por 6 de ancho.

4.2.8.2. Zona B (Fig. 5.4.)

La zona B mide 43 metros de largo por aproximadamente 8 de ancho (depende del espacio que ocupen los stands en sí del total de 11.5 metros), pero también hay árboles dentro de la zona. Si se descuenta el espacio que quitan los árboles se termina con una superficie rectangular usable de 43 metros de largo por 4 de ancho o cuatro de aproximadamente 12 metros de largo por 8 de ancho.

Estas restricciones de espacio afectan a las dimensiones máximas en condiciones de funcionamiento del sistema solución o producto.

4.2.9. Dificultad de acceso

Esta restricción tiene en cuenta los inconvenientes y problemas al transportar el producto hasta la zona en la que se realiza la feria. En este caso no existen muchas limitaciones en el camino hasta Porto Cristo, ya que se trata de un camino que no se desvía de la carretera de Manacor MA-15 (de dos carriles por sentido) hasta que llega a Manacor. Justo allí se desvía por la ronda de Felanitx, donde no debería tener problema para circular porque es una circunvalación utilizada frecuentemente por camiones y máquinas grandes de construcción.

Entonces solo falta tomar la carretera Manacor – Porto Cristo, la cual tiene solo un carril por sentido, pero que no tiene ni curvas cerradas ni tramos de desnivel significativo. Al llegar a Porto Cristo el acceso hasta el puerto es bastante fácil: las tres calles más anchas y ya se ha llegado a la zona donde se monta la feria.

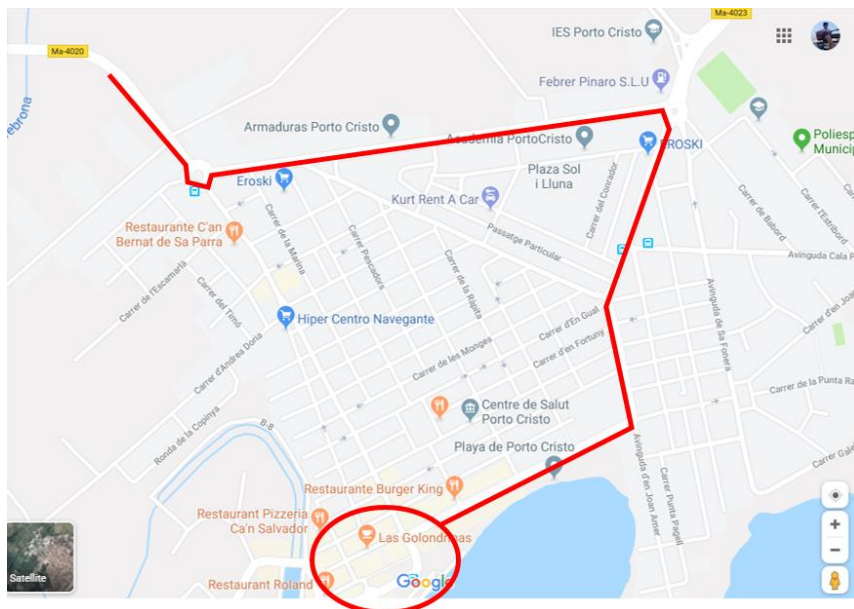


Fig. 5.5. Indicaciones a seguir para llegar al puerto de Port Cristo.

En cuanto a la dificultad de acceso hasta las zonas disponibles para el montaje A y B delimitadas anteriormente, tampoco es excesivamente limitante.

4.2.9.1. Zona A

La zona A (Fig. 5.3.) tiene un acceso muy fácil, solo hace falta seguir la calle Bordils hasta llegar allí. La curva más complicada es la penúltima que se hace, situada en la misma calle Bordils. Tiene un radio de curvatura mínimo de unos 8 metros y máximo de 16, mientras que la calle mide 6 metros de ancho. Esta curva debería poderla hacer un tráiler articulado de hasta 16 metros de largo.

4.2.9.2. Zona B

La zona B (Fig. 5.4.) tiene el mismo acceso que la zona A, con la única peculiaridad de que para aparcar el remolque hay que hacer marcha atrás, pero que con las dimensiones máximas establecidas le es posible aparcarlo.

4.3. Especificaciones técnicas previstas

Las especificaciones técnicas son la descripción precisa de lo que el producto o sistema resultante tiene que hacer para cumplir los objetivos del proyecto.

Prestaciones	
Potencia máxima	>26 kW
Voltaje suministrado	220 V a 240 V
Tiempo de funcionamiento máximo	>12 h
Capacidad energía máxima	>80 kWh
Tiempo de carga	<24 h
Dimensiones y Peso	
Largo	<9 m
Ancho	<2.55 m
Alto	<4 m
Peso	<18 T
Portabilidad	
Transportable por	Camión
Montaje	
Tiempo	<4 h
Operarios necesarios	≥3

Fig. 5.6. Especificaciones técnicas previstas

La potencia máxima se ha calculado aplicando un coeficiente de seguridad de 1.5. Es importante tener un buen margen de seguridad aquí ya que muchos aparatos eléctricos generan picos de consumo al iniciar su funcionamiento (es el caso de los frigoríficos y congeladores, por ejemplo). Además, también es posible que se en la realidad se enchufen más aparatos de los que se tenían en cuenta o se habían enchufado el 2019 (en el cual no se disponía de red eléctrica común, y por lo tanto cada vendedor pagaba directamente su consumo).

Se ha establecido como intervalo aceptable del voltaje de salida 220 a 240 V, ya que es un margen que la gran mayoría de aparatos acepta.

El tiempo de funcionamiento máximo se ha estimado teniendo en cuenta el montaje y la prueba del sistema antes de empezar a conectar los aparatos que deben conectarse 5 horas antes de empezar la feria.

La capacidad de las baterías es de las variables más importantes. El sistema no puede quedarse sin energía a media feria, así que se ha establecido un coeficiente de seguridad de 1.3 respecto al consumo de la feria calculado anteriormente.

El tiempo de carga se ha aproximado como el razonable para el uso que se le va a dar. De esta el producto solo necesita cargarse el día anterior.

La longitud se ha determinado a través de la longitud máxima del camión que puede maniobrar hasta las zonas de montaje. Esta es de 16 metros y el tamaño medio de un camión sin el remolque es de 7 metros, así que el remolque tiene que medir menos de 9 metros.

La anchura se ha determinado mediante la máxima permitida por el código de tráfico, que es de 2.55 metros [11].

El peso máximo se ha determinado sabiendo que el peso máximo permitido de un remolque de 2 ejes es de 18 toneladas métricas.

La capacidad de transporte se asigna como camión, lo cual significa que un vehículo utilitario no puede transportar dicho remolque. En caso que sí pudiera transportarlo un vehículo de dimensiones menores a un camión se pondría este como especificación técnica.

El tiempo de montaje debe de ser relativamente baja para no perder portabilidad.

El número mínimo de operarios requeridos para el montaje del sistema se ha establecido teniendo en cuenta que estos quepan en el mismo vehículo de transporte. En el caso de coches utilitarios no hay problema, ya que tienen al menos 4 plazas. Sin embargo, los camiones y furgonetas pueden tener como máximo (normalmente) 3.

4.4. Criterios de filtro

4.4.1. Energía suministrada

Lo primero que se establecerá es un criterio de filtro para que el sistema solución tenga que satisfacer toda la demanda de energía de la feria, ya que esta es la función más importante y necesaria del producto.

Energía suministrada	Puntuación
<61.3 kWh	0
≥61.3 kWh	1

Fig. 5.7. Criterio de filtro sobre la energía acumulada

4.4.2. Potencia máxima

Es la potencia máxima que puede proporcionar el sistema. Se va a tener en cuenta como

criterio de filtro.

Potencia máxima	Puntuación
<26 kWh	0
≥26 kWh	1

Fig. 5.8. Criterio de filtro sobre la potencia máxima proporcionable

4.5. Criterios de valoración

Los criterios de valoración son parámetros dependientes de las variables de diseño y de las limitaciones cuyo valor indica el grado de cumplimiento de uno o varios de los objetivos del proyecto.

4.5.1. Carga sobrante

Es el porcentaje de carga que tienen las baterías al terminar la feria. Cuanto más grande sea mejor, por esto se puntuará de la siguiente forma:

Porcentaje de carga	Puntuación
0 % a 5 %	1
6 % a 15 %	2
16 % a 30 %	3
31 % a 40 %	4
41 % a 50 %	5

Fig. 5.9. Criterio de valoración de la carga sobrante

Que la carga sobrante sea del 0 % no significa que no se haya proporcionado toda la energía necesaria, sino que las baterías están vacías. Puede ser que en ese caso se utilizase una fuente de energía auxiliar para seguir satisfaciendo la demanda energética de la feria.

4.5.2. Fiabilidad

Es la probabilidad de que el sistema funcione correctamente en las condiciones fijas de la feria nocturna de Porto Cristo. Primeramente, se va a establecer un criterio de filtro del 95 % de fiabilidad, ya que cualquier solución debe tener una fiabilidad mayor a esta.

Fiabilidad	Puntuación
<95 %	0
≥95 %	1

Fig. 5.10. Criterio de filtro sobre la fiabilidad del sistema

Además, se va a establecer un criterio de valoración sobre la fiabilidad de tal forma que la alternativa más fiable representa la máxima puntuación y la menos fiable la mínima. Dicho esto, la alternativa más fiable tiene un 99.903 %, mientras que la de menor fiabilidad tiene un 99.78 %.

Fiabilidad	Puntuación
99.78 % a 99.804 %	1
99.805 % a 99.829 %	2
99.830 % a 99.853 %	3
99.854 % a 99.878 %	4
99.879 % a 99.903 %	5

Fig. 5.11. Criterio de valoración de la fiabilidad

4.5.3. Variación de tensión

El voltaje debe estar lo más próximo a 230 V posible. Cuanto más cerca esté entonces, mejor puntuación tendrá este criterio. Se ha tenido en cuenta entonces la diferencia de tensión entre la real y 230 V.

Oscilación de la tensión	Puntuación
±10 %	1
±8 %	2
±7 %	3
±4 %	4
±2 %	5

Fig. 5.12. Criterio de valoración de la variación de la tensión

4.5.4. Seguridad

La seguridad del sistema es un criterio muy importante. Lamentablemente, no se tiene acceso a ninguna información sobre la probabilidad de accidente de ninguno de los componentes, ya que no es una cifra que los fabricantes mencionen.

Por esta razón, simplemente se ha estimado la seguridad de cada sistema de baterías de cada alternativa, ya que se trata del componente más peligroso del sistema, basándose en la antigüedad de estas y de la cantidad de reportes de accidentes con estos modelos.

4.5.5. Tiempo de montaje

Es el tiempo que lleva montar el sistema desde que está plegado en su posición hasta que está listo para funcionar. Cuanto menor sea el tiempo de montaje mejor será la puntuación de este criterio.

Tiempo	Puntuación
>4 h	1
2 h a 4 h	2
1 h a 2 h	3
0.5 h a 1 h	4
<0.5 h	5

Fig. 5.13. Criterio de valoración del tiempo de montaje

4.5.6. Operarios necesarios

Es la cantidad de personal necesario para desplegar y preparar el sistema para su funcionamiento. Cuanto menos sean mejor puntuación tendrá este criterio.

Número de operarios	Puntuación
>3	1
3	3
2	4
1	5

Fig. 5.14. Criterio de valoración de los operarios necesarios

Se ha omitido el 2 como puntuación posible para este criterio para aumentar la penalización que se da al necesitar más de 3 operarios.

4.5.7. Peso

Es el peso total del sistema (sin contar el vehículo necesario para su transporte en el caso de que así sea). Cuanto menor sea mejor puntuación tendrá este criterio. Además, se aplicará un criterio de filtro para que todas las soluciones cumplan las normas de circulación para un remolque de 2 ejes (interesa que no tenga 3 ejes por motivos de maniobrabilidad).

Tiempo	Puntuación
>18 Tm	0
≤18 Tm	1

Fig. 5.15. Criterio de filtro según el peso

Peso	Puntuación
>3500 kg	1
2401-3500 kg	2
1300-2400 kg	3
750-1300 kg	4
<750 kg	5

Fig. 5.16. Criterio de valoración del peso

Para establecer este criterio se ha tenido en cuenta el permiso de conducir necesario para transportar el remolque², determinando a partir de estos un límite de peso para cada puntuación.

4.5.8. Maniobrabilidad

Es la facilidad con la que se puede transportar el sistema. Se ha medido mediante el tiempo transcurrido desde que el transporte entra en Porto Cristo hasta que termina correctamente colocado en su zona de funcionamiento.

Tiempo	Puntuación
>2 h	1
1 h a 2 h	2
0.5 h a 1 h	3
15 min a 30 min	4
<15 min	5

²B: Vehículos de menos de 3500 kg de MMA con remolque de menos de 750 kg de MMA o vehículos de menos de 3500 kg de MMA con remolque que sumen menos de 3500 kg de MMA

B96: Vehículos de menos de 3500 kg de MMA y remolque de más de 750 kg de MMA, entre los dos menos de 4250 kg.

BE: Vehículos de menos de 3500 kg de MMA y remolque de más de 750 kg MMA, entre los dos entre 4250 y 7000 kg.

CE: Camiones y vehículos de más de 3500 kg de MMA con tráileres.

Fig. 5.17. Criterio de valoración de la maniobrabilidad

4.5.9. Medio de transporte del sistema

Se trata de otra forma de medir la portabilidad del sistema, esta vez remarcando la necesidad del sistema de depender de un vehículo utilitario, de un camión o solamente de sí mismo para moverse.

Transporte	Puntuación
Camión	2
Utilitario	4
Ninguno	5

Fig. 5.18. Criterio de valoración del medio de transporte

4.5.10. Dimensiones en funcionamiento

Es la superficie que ocupa el sistema una vez montado y listo para suministrar energía. Como el espacio ocupado no puede sobrepasar las dimensiones de las zonas A o B (21 m x 6 m y 49 m x 4 m respectivamente), se aplicará un criterio de filtro de tal forma que la longitud sea menor de 47 metros y la anchura menor de 5 metros (se ha dejado un margen de 2 metros de longitud y 1 metro de anchura).

Longitud	Puntuación	Anchura	Puntuación
>47 m	0	>5 m	0
≤47 m	1	≤5 m	1

Fig. 5.19. Criterios de filtro para la longitud y la altura del sistema en funcionamiento

Por otro lado, también se tendrá en cuenta como criterio de valoración la superficie utilizada por el sistema en su estado de funcionamiento (no se tienen en cuenta ni cables ni otros accesorios que ocupan una superficie despreciable).

Superficie	Puntuación
>100 m ²	1
75 m ² a 99 m ²	2
50 m ² a 74 m ²	3
25 m ² a 49 m ²	4
<25 m ²	5

Fig. 5.20. Criterio de valoración de la superficie del sistema

4.5.11. Tiempo en estado desplegado

Este criterio mide el tiempo durante el cual el sistema o producto está ocupando la superficie susodicha. Cuanto menor sea mejor, puesto que es un espacio que debe recuperar su función habitual (en este caso de aparcamiento para vehículos utilitarios) lo antes posible.

Tiempo	Puntuación
>18 h	1
16 h a 18 h	2
14 h a 16 h	3
12 h a 14 h	4
<12 h	5

Fig. 5.21. Criterio de valoración del tiempo en estado desplegado

4.5.12. Impacto visual

Este criterio pretende valorar el impacto que causa el sistema al estar desplegado en la zona. Es difícil de valorar, pero se hará mediante la capacidad que tiene de llamar la atención y ser visto por los visitantes de la feria que pasean entre los stands.

Impacto visual	Puntuación
Contrasta con su entorno	1
Se ve fácilmente pero no desentona demasiado	2
Se ve pero no desentona con el entorno	3
Hay que fijarse para verlo	4
Se confunde con el entorno	5

Fig. 5.22. Criterio de valoración del impacto visual

4.5.13. Facilidad de uso

Este criterio de valoración mide la dificultad que tiene por parte de los suministrados conectarse a la red. Esto implica la necesidad de llevar regletas y alargadores para poder enchufarse al sistema proveedor de corriente. Para valorar esto se va a analizar la cantidad de pasos y material extra que tienen que llevar los feriantes.

Descripción	Puntuación
El feriante tiene que llevar regletas para sus aparatos y luces y alargar desde la corriente de otros feriantes.	1
El feriante tiene que llevar regletas para sus aparatos y luces y alargar desde una toma del sistema.	2
El feriante tiene que llevar regletas para sus aparatos y luces y tiene una toma de corriente del sistema al lado.	3
El feriante no tiene necesidad de llevar regletas si no tiene que conectar más de 8 aparatos.	4
El feriante no tiene que llevar regletas porque le son proporcionadas tantas como necesite.	5

Fig. 5.23. Criterio de valoración de la facilidad de uso del sistema solución

4.5.14. Contaminación acústica

Este criterio valora la cantidad de ruido generado por el sistema solución. Cuanto menor sea mejor, ya que la feria será un poco más silenciosa y agradable a la vez que los visitantes van a reparar menos en el impacto visual que pueda causar el producto en la feria.

Ruido	Puntuación
>70 dB	1
65 dB a 70 dB	2
60 dB a 64 dB	3
55 dB a 59 dB	4
<55 dB	5

Fig. 5.24. Criterio de valoración de la contaminación acústica

4.5.15. Contaminación atmosférica

Este se trata de un criterio difícil de valorar. Por una parte, está la contaminación *in situ*, ya sea para generar la energía que proporciona o para recargar las baterías en un momento de poca capacidad. Por otra parte, está la contaminación atmosférica que se ha emitido para generar y almacenar esa energía, por lo que se tendrán en cuenta las dos.

Para valorar la contaminación sin restringir las opciones de soluciones demasiado, se van a comparar las emisiones de CO₂ producidas por el sistema solución con las de un generador de corriente de gasolina. Entre los dos sistemas se van a comparar las emisiones producidas para poder generar los 61.3 kWh de energía a la feria. Esta comparación se hace mediante el porcentaje de disminución de emisiones de la Fig. 5.25.

Lo que no se va a tener en cuenta es la contaminación atmosférica emitida durante la producción de los materiales y aparatos utilizados, ya que es un estudio que queda fuera del alcance de este proyecto.

Disminución porcentual	Puntuación
<10 %	1
10 a 20 %	2
20 a 34 %	3
35 a 49 %	4
>50 %	5

Fig. 5.25. Criterio de valoración de la contaminación atmosférica

4.5.16. Coste

El coste se valorará de forma que la alternativa más económica y la que menos establezcan los límites superiores e inferiores de la escala. La alternativa más económica entonces, tiene un coste de 18800 € y la más cara de 40400, por lo tanto:

Disminución porcentual	Puntuación
36080 € a 40400 €	1
31760 € a 36079 €	2
27440 € a 31759 €	3
23120 € a 27439 €	4
18800 € a 23119 €	5

Fig. 5.26. Criterio de valoración del coste de la solución

5. Posibles soluciones

5.1. Presentación de las alternativas

En el sistema a diseñar se tienen que elegir aparatos funciones diferentes, cuyos rendimientos y características afecta no solamente al resto de componentes del sistema, sino que también afectan directamente sobre la viabilidad o la valoración de la solución.

Es por esto que, antes de empezar a describir con detalle las diferentes alternativas o posibles soluciones, se van a resumir los componentes a elegir y la metodología que se ha seguido para cada alternativa.

Se van a proponer, para empezar, tres soluciones. A partir de la valoración de estas según los criterios de valoración anteriores puede que surjan más soluciones de la combinación de estas tres, entonces se volverán a valorar.

Para las tres alternativas siguientes se va a elegir una batería de capacidad media formada por una sola unidad, una de capacidad alta formada por más de una batería de más de 4 años y una de capacidad alta formada por más de una batería de menos de 4 años.

De esta forma se tendrán unos resultados variados de los que se podrán sacar conclusiones y posibles alternativas mejores, tal vez de combinaciones entre estas tres siguientes alternativas.

5.1.1. Baterías

Las baterías acumulan la energía eléctrica tanto generada por paneles fotovoltaicos como suministrada por la red eléctrica o los puntos de carga para vehículos eléctricos.

Como ya se ha comentado en la introducción del proyecto, la finalidad de este es reutilizar baterías de vehículos eléctricos, después de su vida útil en el vehículo (alrededor del 70 % de carga restante).

El alto consumo de la feria nocturna de Porto Cristo exige que se utilicen baterías de alta capacidad, así que las baterías que se van a utilizar son de coche. Esta decisión tiene la ventaja añadida de que son vehículos bastante comunes, por lo que no costará mucho encontrar las baterías susodichas.

Modelo	Capacidad (kWh)	Voltaje (V) nom, máx	Inicio de producción
Nissan Leaf [17]	24, 20 reales	360, 384	2011
Nissan Leaf	30	360, 384	2016
Nissan Leaf	40	360, 384	2019
Tesla Model S [18]	60	306, 350	2012
Tesla Model S [18]	70 o 85	350, 400	2015
Tesla Model S [13]	100, 98.4 reales	350, 400	2016
BMW i3	18.8	306, 350	2014
BMW i3	30	306, 350	2017
BMW i3	42.2, 37.9 reales	306, 350	2019
Renault Zoe ZE 22	26, 23.3 reales	345.6, 400	2015
Renault Zoe ZE 40 [22][23]	46, 41 reales	345.6, 400	2016

Fig. 6.1. Modelos distintos de baterías de coches eléctricos

En la Fig. 6.1. se ha intentado reunir baterías de modelos antiguos (a punto de ser retiradas o en fase de reemplazo actualmente) y de modelos actuales (cuyas baterías serán cambiadas dentro de aproximadamente 8 años). Además, también se han elegido baterías de capacidades distintas.

5.1.1.1. Nissan Leaf

Las baterías del Nissan Leaf son muy fáciles de encontrar, ya que es un coche bastante popular que viene con una buena garantía de recambio de baterías. Esto es así debido a las quejas que surgieron especialmente después de que saliera al mercado la versión de 30 kWh de capacidad. Si ya el modelo de 24 kWh tenía una degradación considerable, la versión de 30 presentó una disminución de capacidad anormalmente alta.

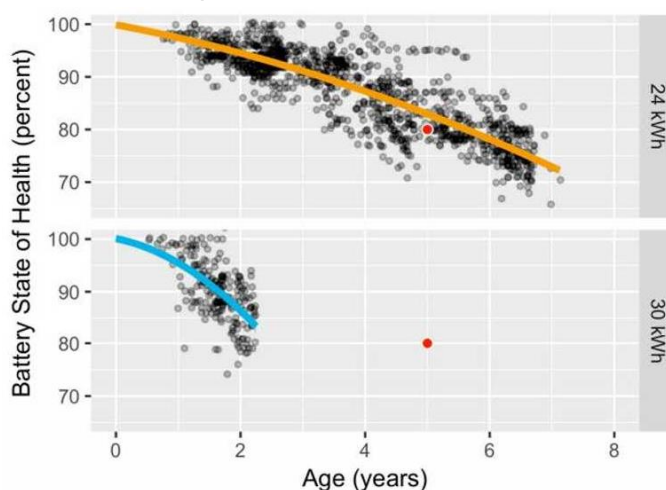


Fig. 6.2. Gráfico de medidas individuales de capacidad de la batería respecto al tiempo. El punto rojo es la estimación de Nissan de la disminución hasta el 80 % de la capacidad a los 5 años.

Aunque en el segundo gráfico la variabilidad de los datos es muy alta, la línea de tendencia polinómica de segundo grado se ajusta bien a los datos y se puede ver claramente que el modelo de 30 kWh no tiende al 80 % en 5 años, lo que puede suponer una retirada de masiva de estas baterías al alcanzar el 66 % antes de los 8 años de garantía.

Se cree que esta degradación muy superior a lo esperado del modelo de 30 kWh se debe a la mala refrigeración de la batería montada en el coche eléctrico. Sin embargo, la decisión de elegir este modelo de batería, sabiendo que presenta este problema en los coches eléctricos, es arriesgada.

5.1.1.2. Tesla Model S [13]

Este fabricante no dispone de garantía por desgaste de la batería, sin embargo, existe un mercado de segunda mano para estas baterías, especialmente de particulares que quieren renovarla y venden la antigua.

De acuerdo con una base de datos abierta de Google que crearon los fundadores del foro Tesla en Bélgica-Países Bajos, donde se han recopilado datos de más de 350 vehículos Tesla, las baterías de estos coches mantienen muy bien la capacidad de carga a lo largo de los años. De hecho, la conservación de la capacidad máxima es 2 o 3 veces mayor que en otros fabricantes.

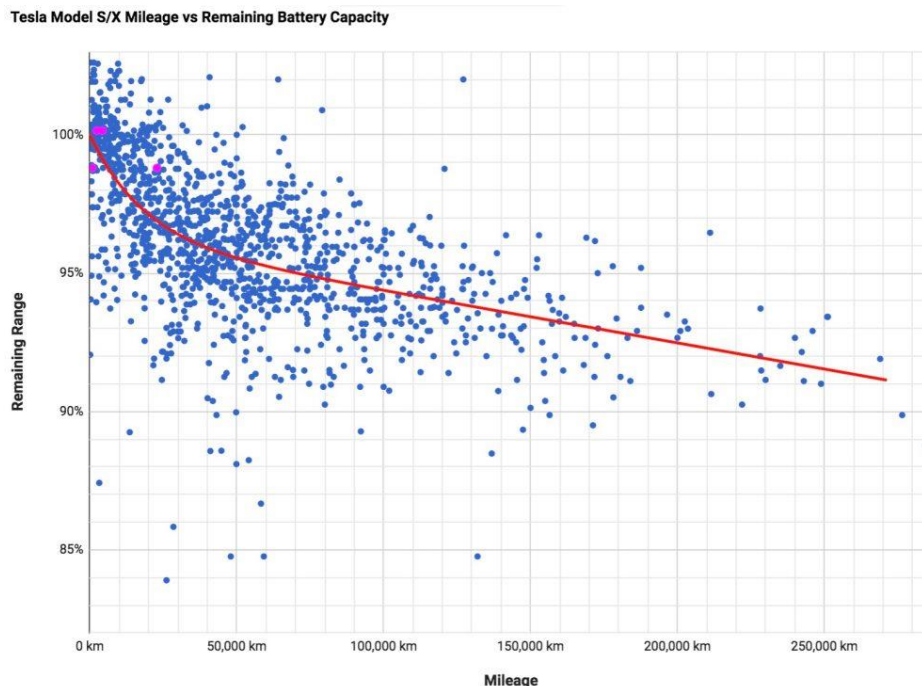


Fig. 6.3. Gràfica capacitat de la bateria respecte a la distància recorrida [12]

Sabiento esto, se estima que el porcentaje de capacidad restante de las baterías usadas estará entre el 80 y el 90 %, ya que muy posiblemente fallarán antes el resto de componentes del vehículo cuando se pase de los 300.000 o 400.000 kilómetros.

Las baterías de la versión de 100 kWh, según el estudio realizado por electrek [12], en realidad tienen una capacidad de 102.4 kWh, de los cuales 98.4 kWh son utilizables. Aplicado el 80 % queda una capacidad utilizable de 78.72 kWh (o 225 AH, ya que funciona a 350 V), considerablemente mayor que la energía consumida por la feria.

El peso total de la batería es de 625 kg, y el volumen de esta es de 0.4 m³. Dentro del coche eléctrico, la batería tiene una forma muy plana, de muy poca altura. Sin embargo, esta está compuesta por 16 módulos de baterías, cada uno midiendo 686mm x 292mm x 89 mm [28]. Estos módulos se pueden recolocar según la carga para obtener una forma más transportable.

5.1.1.3. Renault Zoe ZE 40

El programa de alquiler de baterías que ofrece Renault es bastante interesante. Se trata de un contrato de alquiler de pagos mensuales que asegura al usuario del vehículo que este siempre tenga más de un 75 % de la capacidad original de la batería.

De esta forma se sabe que las baterías reemplazadas estarán a un 75 % de la carga original. Así pues, la capacidad de la batería usada será de 30.75 kWh.

El peso total de la batería es de 305 kg, y las dimensiones son desconocidas, aunque se pueden estimar a partir de las dimensiones de cada celda LG. Cada módulo tiene 16 celdas, que en total miden 325mm x 125mm x 184 mm. La batería está compuesta por 12 módulos de esas medidas, que a su vez se pueden colocar como se más útil para su transporte.

5.1.2. Paneles solares

Los paneles solares o fotovoltaicos se encargan de transformar la energía fotovoltaica proveniente del sol a energía eléctrica.

A la hora de elegir paneles fotovoltaicos para este proyecto, hay que tener en cuenta la capacidad de la batería del sistema y la duración que supondrá la carga completa de esta.

Así pues, se van a plantear dos alternativas: paneles de eficiencia media y bajo coste y paneles de eficiencia alta con un coste alto también. Estas van a ir en consonancia con la capacidad total de la batería del sistema, de esta forma la batería de mayor capacidad va a tener un tiempo de carga similar a la de capacidad media sin tener que aumentar drásticamente el número de paneles a instalar, gracias a la eficiencia alta de estos.

5.1.3. Controlador de carga solar

La función principal de este es controlar las propiedades de la corriente y tensión que alimentan la batería del sistema. Es una pieza esencial en los sistemas de energía solar, sin la cual se dañarían las baterías.

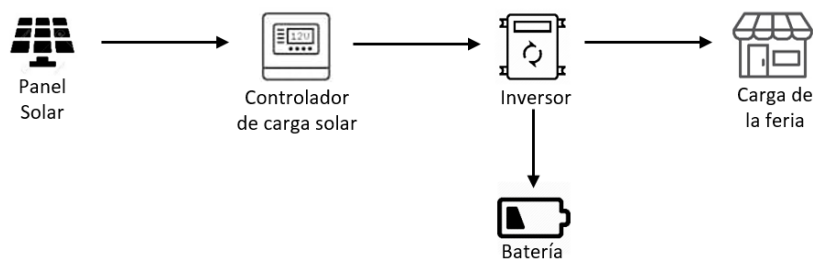


Fig. 6.4. Esquema de funcionamiento del sistema de energía solar.

En la Fig. 6.4. se puede ver el flujo de corriente y la función del controlador de la carga.

Las especificaciones más importantes que debe cumplir este aparato son el rango de voltaje de la batería, el voltaje nominal de los paneles solares y la potencia máxima.

5.1.4. Cargador de baterías

Este aparato permite cargar baterías transformando corriente alterna en continua a un voltaje e intensidad correctos para no dañarlas. Se necesita para cualquier instalación en la que las baterías se tengan que cargar desde una fuente de energía eléctrica, ya sea la red eléctrica u otro suministro.

En este caso, este aparato se utiliza en una de las tres alternativas, en la cual se prescinde de los paneles solares y se pretende cargar la batería en puntos de carga para vehículos eléctricos.

Los puntos de carga rápida, como se verá más adelante, proporcionan corriente alterna a 400 V, lo cual es importante tener en cuenta a la hora de elegir el cargador correcto.

5.1.5. Inversor de baterías

Un inversor de baterías convierte la corriente continua de tensión variable de las baterías a corriente alterna de tensión estable. De esta forma se puede suministrar la energía de la batería del sistema a la feria nocturna. En la Fig. 6.4. se puede ver el funcionamiento del inversor en un sistema de energía solar, en coordinación con el controlador de carga solar.

Las especificaciones más relevantes del inversor son la potencia máxima proporcionable de salida (la feria), los voltajes de la batería y de salida y la variación de estos voltajes.

Algunos inversores incorporan un controlador de carga solar, con lo cual se simplifica el esquema del sistema representado en la Fig. 6.4. al haber solamente un aparato entre los paneles, la batería y la carga.

Cabe decir que algunos inversores incorporan también un cargador de baterías, lo cual significa que, para el uso que se quiere dar a las baterías en la tercera alternativa, en vez de necesitar un inversor y un cargador solo se necesita el inversor de las dos funciones.

5.1.6. Remolque

La elección del remolque se ha hecho a medida para cada alternativa, es decir, teniendo en cuenta el peso del sistema y sus dimensiones después de elegir el resto de componentes, se ha buscado un remolque adecuado para dicho sistema. Además, todos los remolques serán cerrados para evitar posibles robos y daños en los componentes, así como para proteger el sistema de las condiciones atmosféricas del entorno.

5.2. Alternativa 1: Batería de media capacidad con carga mediante paneles solares de gama media

Este sistema propone el uso de las placas solares para cargar las baterías al máximo antes de empezar a suministrar energía eléctrica a la feria, ya que se trata de una feria nocturna y no se puede generar energía durante esta.

5.2.1. Baterías

En esta posible solución se va a instalar una sola batería de capacidad media, como la del Tesla Model S de 100 kWh (2017). Ya se ha dicho que su capacidad real es de 78.72 kWh, y el resto de características están detalladas en la sección presentación de las alternativas.

La conexión entre módulos de las baterías no se va a cambiar, es por esto que se van a conservar el voltaje y la intensidad de la batería en su funcionamiento en el coche eléctrico. En cambio, sí se van a reorganizar estos módulos para que quepa dentro del remolque.

5.2.2. Paneles solares

Las especificaciones técnicas previstas marcan un tiempo de recarga máxima de 24 horas, es decir, un día. Esto se debe tener en cuenta a la hora de diseñar la estructura de paneles solares y de decidir cuántos se van a montar.

En esta alternativa se van a instalar los paneles de eficiencia media y coste bajo.

La irradiación global horizontal media diaria en Porto Cristo es de 7.9 kWh/m² [9]. Es cuestión, por lo tanto, de la superficie total de paneles solares utilizados y de la eficiencia de estos.

Como se ha dicho la capacidad real de la batería es de 78.72 kWh. Si se aplica una eficiencia total del sistema de un 80 %, la energía que tienen que producir los paneles es:

$$E_1 = \frac{78.72}{0.8} = 98.4 \text{ kWh}$$

Los paneles elegidos tienen una eficiencia del 17 %:

$$E_r = \frac{E_1}{0.17} = 578.8 \text{ kWh}$$

Que expresado en superficie total de paneles solares es:

$$S_p = \frac{E_r}{7.9} = 73.3 \text{ m}^2$$

Cada panel solar suele tener una superficie aproximada de 2 m^2 , por lo que se tendrían que instalar 37 paneles. Cada panel solar de este modelo pesa 24 kg y viene con una garantía de 25 años.



Fig. 6.5. Panel Talesun policristalino de 330 W a 24 V

La estructura que va a aguantar los paneles es desmontable y permite la instalación de tres filas de paneles colocados en vertical con una inclinación de 30 grados [20]. En este caso se va a necesitar la estructura de 39 paneles y, por cuestiones de simetría, se van a instalar también los 39 paneles. Cada módulo de soporte para 3 paneles pesa 25 kg. Las dimensiones de toda la estructura de 39 paneles son 13 metros de largo, 5 de ancho y 3 de alto.



Fig. 6.6. Estructura consistente de 4 módulos de 3 paneles en vertical [16]

Como se verá en el próximo apartado, el inversor y el controlador de carga que se utilizarán para el sistema de paneles solares funcionan sobre los 384 V nominales. Sin embargo, aceptan cualquier voltaje menor que 660 V, así que se conectarán los paneles de cada fila en serie para obtener un voltaje de 312 V y las tres filas se van a conectar en paralelo. De esta

forma el voltaje total del conjunto de paneles es de 312 V y la intensidad máxima de 26.55 A

5.2.3. Controlador de carga solar

La potencia máxima que pueden generar los paneles solares, según el fabricante, es:

$$P_{max} = 330 \times 39 = 12.87 \text{ kW}$$

Así pues, la potencia máxima que tiene que admitir el controlador de carga tiene que ser al menos de 13 kW.

En este caso se ha encontrado un inversor con controlador de carga solar incorporado [27], que tiene un voltaje nominal de la batería y de los paneles solares de 384 V y una salida a 230 V o a 400 V de corriente trifásica a 50 Hz. La potencia máxima es de 30 kW, que afecta tanto a la potencia del inversor (es decir la potencia que puede suministrar a la feria) como a la potencia del controlador de carga (a la que puede cargar las baterías mediante los paneles solares).



Fig. 6.7. Snadi Solar Inverter with Solar Charger Controller [27]

Debido a la construcción del mismo, este sistema no se podrá cargar en puntos de carga de vehículos eléctricos, sino que tendrá que hacerlo siempre con los paneles solares

5.2.4. Remolque

El peso del sistema sin el remolque se desglosa de la siguiente forma:

Componente	Unidades	Peso
Batería 79 kWh	1	625 kg
Panel Talesun 330 W	39	936 kg
Estructura paneles	13	325 kg
Inversor	1	215 kg
TOTAL		2101 kg

Fig. 6.8. Peso de los componentes del sistema por separado y peso total

Para cargar estos 2100 kg de carga se necesita un remolque de una Masa Máxima Autorizada de 3500 kg. Además, hay que tener en cuenta las dimensiones de la carga a transportar:

Componente	Dimensiones (mm)
Batería 79 kWh	686 × 584 × 712
Paneles Talesun 330 W	2000 × 1000 × 1480
Estructura paneles (aprox.)	2500 × 450 × 400
Inversor	635 × 566 × 1295
TOTAL	3100 × 1500 × 1500

Fig. 6.9. Dimensiones de los componentes del sistema y mínimas dimensiones del remolque

Según las combinaciones de almacenamiento hechas, sin apilar ningún componente encima del otro, el remolque tiene que medir al menos 3.1m × 1.5m × 1.5 m.

De esta forma, la longitud de la batería tiene que ser menor que 1100 mm y la anchura menor que 865 mm. Si cada módulo mide 686mm × 292mm × 89 mm, de los cuales la batería tiene 16, la mejor configuración mide 686mm × 584mm × 712 mm.

El remolque más parecido a estas dimensiones es el Lfor Williams Box Van BV126 [29], con unas medidas de 3600mm × 1730mm × 1830 mm y capaz de cargar hasta 2370 kg. El remolque tiene una MMA de 3500 kg y dispone de dos ejes.

En este caso se podrá transportar con un vehículo utilitario que permita esta carga de remolque, como el Audi Q7 o el Land Rover Discovery.

5.2.5. Estimación económica

Componente	Precio unidad	Unidades	Precio
Batería 79 kWh	5000 €	1	5000 €
Panel Talesun 330 W	155.28 €	39	6055.92 €
Estructura 39 paneles	2430.65 €	1	2430.65 €
Inversor	3822 €	1	3822 €
Remolque BV126	4894 €	1	4894 €
TOTAL			22202.57 €

Fig. 6.10. Estimación del coste de la alternativa 1

El coste de la batería del Model S se ha estimado de la siguiente forma. El coste de producción de las baterías en los Tesla se sabe que representa el 21 o 22 % [32]. Dicho esto, el precio

del Model S ronda los 110000 €, así que el precio de la batería se situaría sobre los 25000 €. Estimando el precio de las baterías de segunda mano sobre el 20 % del precio inicial, se llega a la cifra de 5000 €.

5.3. Alternativa 2: Batería de alta capacidad con carga mediante paneles solares de gama alta

5.3.1. Baterías

En esta otra alternativa se van a utilizar varias baterías que sumen una capacidad alta. Las baterías del Nissan Leaf son ideales, ya que van a ayudar a reducir el coste del sistema y a compensar el sobrecoste de los paneles solares de alta eficiencia. Además, estas baterías ya llevan 8 años funcionando, por lo que ya se están sustituyendo y existe una gran oferta de ellas.

Escogiendo las baterías de la primera generación del Leaf, cuya capacidad real es de 20 kWh, se sabe que estas baterías las cambia Nissan cuando están sobre el 70 % de su carga. Así pues, la capacidad restante de estas baterías de segunda mano es de 14 kWh cada una.

La tabla de especificaciones (Fig. 5.3.) requiere una capacidad mínima de 80 kWh. Considerando esto y que en esta alternativa se pondrán paneles solares de alta eficiencia, 7 baterías es un número razonable, con una capacidad total de 94 kWh. Estas baterías se van a conectar en paralelo para evitar fallos y no aumentar el voltaje total.

5.3.2. Paneles solares

Como se ha dicho anteriormente, en esta alternativa se instalarán paneles solares de alta eficiencia. La mejor opción que existe en el mercado son los paneles SunPower de la serie X [19], con una eficiencia del 22.2 % y una potencia de 360 W cada uno.

Para saber el número de paneles necesarios para cumplir la especificación de carga de la batería en menos de 24 horas que figura en la tabla de especificaciones previstas (Fig. 5.3.), se va a proceder a hacer los mismos cálculos que en la alternativa 1.

La irradiación global horizontal media diaria en Porto Cristo es de 7.9 kWh/m² [9]. Es cuestión, por lo tanto, de la superficie total de paneles solares utilizados y de la eficiencia de estos.

Como se ha dicho la capacidad real de la batería es de 94 kWh. Si se aplica una eficiencia total del sistema de un 80 %, la energía que tienen que producir los paneles es:

$$E_1 = \frac{94}{0.8} = 117.5 \text{ kWh}$$

La eficiencia de estos paneles SunPower es del 22.2 %, por lo tanto, la energía solar necesaria es:

$$E_r = \frac{E_1}{0.222} = 529.3 \text{ kWh}$$

Una cantidad bastante parecida a la alternativa anterior. Expresado en superficie total de paneles solares es:

$$S_p = \frac{E_r}{7.9} = 67 \text{ m}^2$$

Cada panel solar tiene una superficie aproximada de 1.6 m², por lo que se tendrían que instalar 42 paneles. Cada panel solar de este modelo pesa 18.6 kg y viene con una garantía de 25 años.



Fig. 6.11. SunPower X22-360-COM

La estructura que va a aguantar los paneles va a ser la misma que en la alternativa 1 [21], de 3 filas de paneles colocados en vertical. Sin embargo, en este caso la estructura será de 42 paneles y el peso será 25 kilogramos más. Las dimensiones de toda la estructura de 42 paneles serán 14 metros de largo, 5 de ancho y 3 de alto.

Estos paneles tienen un voltaje óptimo de funcionamiento de 59 V. Como el controlador de carga que se va a instalar (definido más adelante) tiene un voltaje nominal de 384 V, lo mejor sería aproximarse a este voltaje.

Teniendo esto en cuenta, se tendrían que hacer entre 6 y 7 grupos de paneles en serie. Por facilidad de instalación y sobre todo cableado se harán 6, 2 grupos en cada fila de paneles de

la estructura. El voltaje total será de 413 V.

5.3.3. Controlador de carga solar

En este caso, la potencia máxima que pueden generar los paneles es:

$$P_{max} = 360 \times 42 = 15.12 \text{ kWh}$$

Al igual que en la alternativa 1, se va a utilizar el inversor controlador Snadi, ya que sus 30 kW de potencia máxima son más que suficientes para esta instalación solar.

Como ya se ha dicho en la presentación de las alternativas, este aparato sirve tanto como inversor para convertir la corriente continua de las baterías a corriente alterna para abastecer la necesidad energética de la feria como regulador de la carga de las baterías, que convierte la corriente que proviene de los paneles solares a un voltaje adecuado para las baterías.

5.3.4. Remolque

El peso del sistema sin el remolque se desglosa de la siguiente forma:

Componentes	Unidades	Peso
Batería 14 kWh	7	2058 kg
Panel SunPower 360 W	39	725.4 kg
Controlador baterías	1	215 kg
Estructura paneles	14	350 kg
TOTAL		3283.4 kg

Fig. 6.12. Peso de los componentes del sistema por separado y peso total

Este sistema es demasiado pesado para ser transportado por un remolque de MMA de 3500 kg, ya que el MMA es el peso máximo al que puede circular el remolque, sumando la carga y el remolque en sí. Obviamente, no hay ningún remolque que pese 200 kg capaz de transportar esta carga.

Así pues, tiene que ser un semirremolque transportado por un camión. Bastará con que tenga un eje y sea de caja cerrada, y en este caso no hace falta comprobar las dimensiones porque seguro que va a sobrar espacio.

Existe una gran oferta de semirremolques de segunda mano de este tipo, por lo que se va a prescindir de comprar uno nuevo para reducir costes. Un ejemplo de semirremolque de segunda mano es este [30]. Puede transportar hasta 11.5 toneladas y mide 7.6 m x 2.55 m x 2.8 m.



Fig. 6.13. Semirremolque de segunda mano [30]

5.3.5. Estimación económica

Componente	Precio unidad	Unidades	Precio
Batería 14 kWh	900 €	7	6300 €
Panel SunPower 360 W	561.42 €	42	23580 €
Estructura 42 paneles	2718.14 €	1	2718 €
Inversor	3822 €	1	3822 €
Semirremolque usado	4000 €	1	4000 €
TOTAL			40420 €

Fig. 6.14. Estimación del coste de la alternativa 2

5.4. Alternativa 3: Batería de alta capacidad recargable en puntos de carga de vehículos eléctricos

5.4.1. Baterías

Esta alternativa llevará unas baterías más recientes, con una capacidad alta.

Debido a que no se van a instalar paneles solares, el peso total del sistema va a ser bastante más bajo, lo cual permite que las baterías pesen un poco más por tener más capacidad.

La batería elegida es la perteneciente al Renault Zoe ZE 40, de capacidad de 41 kWh. Es la batería más grande (a parte de las baterías Tesla, de las cuales ya se ha utilizado la más nueva para la primera alternativa) que hace ya unos años que funciona.

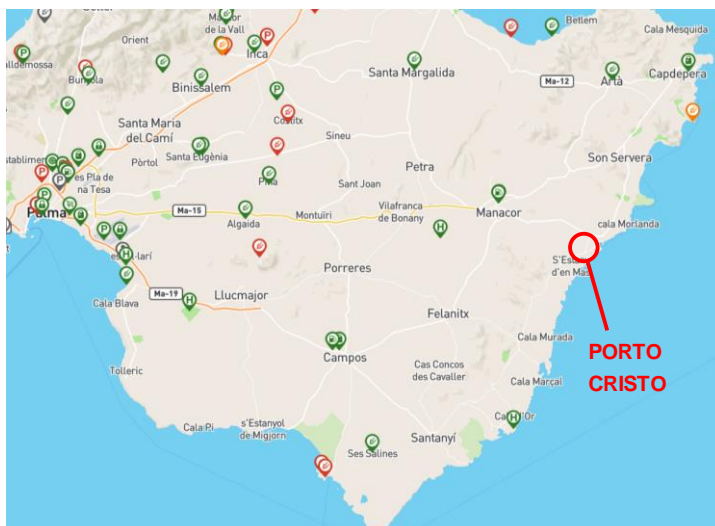


Fig. 6.16. Puntos de carga de 22 y 50 kW [25]. Los puntos representados en verde son los que funcionan en el momento de la consulta.

Como se puede apreciar en la Fig. 6.15., hay un punto de carga en Porto Cristo y, de hecho, está en la misma zona donde se realiza la feria nocturna. De todas formas, hace más de un año y medio que no funciona, y solamente era de 7.4 kW.

Así pues, las estaciones más próximas están en Manacor y en Cala Millor. En Cala Millor todas las estaciones son de 7.4 menos una de 11, mientras que en Manacor también hay de 22 kW e incluso de 50 kW, aunque el último se trata de una estación de servicio Endesa Repsol.

En los puntos de carga de 7.4 kW, las baterías se van a cargar por completo en aproximadamente unas 12 horas y media. En cambio, si se cargan en un punto de carga de 22 kW van a tardar poco más de 4 horas y si se cargan en uno de 50 kW, menos de 2 horas.

5.4.3. Inversor cargador

Para poder alimentar la feria se tiene que convertir la corriente continua a 350 V de las baterías conectadas en paralelo a corriente alterna a 230 V. Para ello se necesita un inversor de corriente.

Además, como también hay que poder cargar las baterías, se tiene que transformar la corriente alterna a 230 V a continua, y para hacerlo se necesita un cargador.

El AIMS Power Pure Sine Inverter Charger [14] hace exactamente esto, hace la función de inversor y de cargador a la vez y además aguanta hasta 30 kW de potencia de salida.



Fig. 6.17. AIMS Power 30 kW Pure Sine Inverter Charger [14]

Entonces surge un nuevo problema. El cargador iría perfecto si los puntos de carga estuviesen a 230 V en monofásico, pero no es así. Las estaciones de conector TYPE 2, es decir, las que tienen una potencia a partir de 7.4 kW hasta la de 22 kW, suministran corriente alterna en trifásico a 400 V entre fases. Así que para aprovechar la mayor potencia de estos puntos de carga hay que transformar la corriente alterna trifásica de 400 V a monofásica de 230 V, para luego pasarla por el cargador que la convertirá a continua y cargará las baterías.



Fig. 6.18. Convertidor de trifásica a monofásica [26]

5.4.4. Remolque

El peso del sistema sin el remolque se desglosa de la siguiente forma:

Componentes	Unidades	Peso
Batería 31 kWh	3	915 kg
Inversor cargador	1	260 kg
Convertidor	1	260 kg
TOTAL		1435 kg

Fig. 6.19. Peso de los componentes del sistema por separado y peso total

Pesando menos de 1500 kg se puede transportar en un remolque de MMA de 2700 kg. Además, hay que tener en cuenta las dimensiones de los componentes.

Componente	Dimensiones (mm)
Batería 31 kWh	975 × 375 × 736
Inversor cargador	650 × 750 × 1100
Convertidor	600 × 700 × 1000
TOTAL	2400 × 1000 × 1200

Fig. 6.20. Dimensiones de los componentes del sistema y mínimas dimensiones del remolque

Según las combinaciones de almacenamiento hechas, sin apilar ningún componente encima del otro, el remolque tiene que medir al menos 2.4 metros de largo, 1 de ancho y 1.2 de alto.

De esta forma, la longitud de la batería tiene que ser menor que 1000 mm y la anchura menor que 400 mm. Si cada módulo mide 325mm × 125mm × 184 mm, de los cuales la batería tiene 16, la mejor configuración mide 975mm × 375mm × 736 mm.

El remolque más parecido a estas dimensiones es el lfor Williams Box Van BV845 [29], con unas medidas de 2400mm × 1170mm × 1530 mm y capaz de cargar hasta 1700 kg. El remolque tiene una MMA de 2700 kg y dispone de dos ejes.



Fig. 6.21. Remolque Lfor Williams Box Van BV845. Se puede ver que también se abre por la parte delantera.

En este caso se podrá transportar con un vehículo utilitario que permita esta carga de remolque, como el Audi Q7 o el Land Rover Discovery.

5.4.5. Estimación económica

Componente	Precio unidad	Unidades	Precio
Batería 30.75 kWh	1400 €	3	4200 €
Convertidor	2400 €	1	2400 €
Inversor	8890 €	1	8890 €
Remolque BV845	3320.76 €	1	3320.76 €
TOTAL			18811 €

Fig. 6.22. Estimación del coste de la alternativa 3

6. Análisis de las alternativas

6.1. Comparación de las alternativas por criterios

6.1.1. Criterio 1: Carga sobrante

Para calcular la carga sobrante se tiene que multiplicar la eficiencia del inversor controlador de carga por la capacidad de la batería. Después se le resta la energía consumida por la feria y se divide por esta para sacar el porcentaje de carga sobrante:

$$E_s = \frac{C_B \times \eta_{inv} - E_F}{E_F} \times 100$$

6.1.1.1. Alternativa 1

La corriente pasa por el controlador de carga solar, por la batería y por el inversor, de eficiencias respectivas de 0.95, 0.99 y 0.95.

$$E_s = \frac{78.72 \times 0.95^2 \times 0.99 - 61.3}{61.3} \times 100 = 14.74 \%$$

6.1.1.2. Alternativa 2:

El sistema es exactamente igual, excepto por el hecho de que la capacidad de la batería es de 94 kWh.

$$E_s = \frac{94 \times 0.95^2 \times 0.99 - 61.3}{61.3} \times 100 = 37.01 \%$$

6.1.1.3. Alternativa 3:

En este caso la capacidad de la batería es de 92.25 kWh y la corriente pasa por el convertidor, el cargador, la batería y el inversor antes de llegar a la feria. Las eficiencias respectivas de los componentes susodichos son 0.94, 0.94, 0.99 y 0.94.

$$E_s = \frac{92.25 \times 0.94^2 \times 0.94 \times 0.99 - 61.3}{61.3} \times 100 = 23.74 \%$$

6.1.2. Criterio 2: Fiabilidad

Para calcular la fiabilidad se ha recurrido a los valores de las tablas de la asignatura gestión de proyectos. Estas tablas proporcionan valores aproximados para equipos mecánicos y eléctricos, y se han utilizado los valores más bajos de cada aparato para asegurarse.

Componente	λ (fallos por hora)	Fiabilidad
Batería	0.0001	0.998807
Célula fotoeléctrica	0.0000015	0.999982
Convertidor corriente	0.0000559	0.99933
Convertidor c.c./c.a.	0.000025	0.9997
Estabilizador c.a./c.c.	0.000025	0.9997

Fig. 7.1. Fiabilidad de cada componente

Para calcular la fiabilidad de cada componente de la Fig. 7.1., para un tiempo de 12 horas, se ha hecho de la siguiente forma:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

6.1.2.1. Alternativa 1

Cada panel fotovoltaico tiene 72 células fotoeléctricas conectadas en serie, por lo que la fiabilidad de cada panel es de 0.999982^{72} , que es igual a 0.9987. Los paneles están conectados en grupos en serie de 13, y si deja de funcionar un grupo el sistema se para. De esta forma, la fiabilidad de cada grupo de paneles es de 0.9833. Sin embargo, como el sistema puede funcionar con solo un grupo de estos, la fiabilidad de todo el sistema de paneles se calcula a partir de la probabilidad de que funcione algún grupo de los 3, que es de 0.999995.

Así pues, para calcular la fiabilidad total se ha tenido en cuenta el siguiente esquema de funcionamiento:

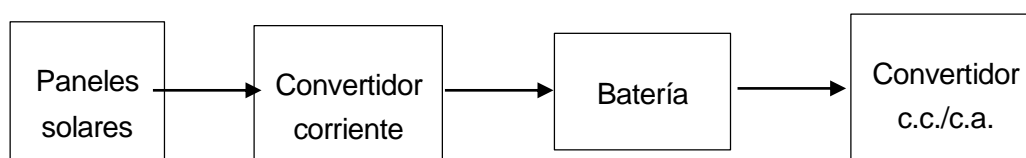


Fig. 7.2. Esquema de funcionamiento para el cálculo de fiabilidad de las alternativas 1 y 2.

Por lo tanto, se calcula la fiabilidad multiplicando cada fiabilidad de cada componente:

$$R_{tot} = 0.999995 \times 0.99933 \times 0.998807 \times 0.9997 = 0.9978$$

6.1.2.2. Alternativa 2

Cada panel fotovoltaico tiene 96 células fotoeléctricas conectadas en serie, así que la

fiabilidad de cada panel es de 0.999982^{96} , que es igual a 0.998273. Los paneles están conectados en grupos en serie de 7, y si deja de funcionar uno se para todo el grupo. La fiabilidad de cada grupo de paneles es de 0.987977. Como hay 6 grupos conectados en paralelo, los cuales no dejan de funcionar si otro de estos grupos lo hace, la fiabilidad de todo el sistema de paneles es prácticamente 1, por lo que se va a omitir.

El esquema de funcionamiento de esta alternativa es el mismo que en la alternativa 1, es decir el representado en la Fig. 7.2., con la única diferencia que este tiene 7 baterías, por lo que la fiabilidad de las baterías es menos apreciable. La fiabilidad total del sistema es:

$$R_{tot} = 1 \times 0.99933 \times 1 \times 0.9997 = 0.99903$$

Esta alternativa es bastante más fiable que la 1 debido a la configuración en paralelo de las baterías y de los paneles solares.

6.1.2.3. Alternativa 3

En esta no hay paneles fotovoltaicos, y el esquema de funcionamiento es diferente.

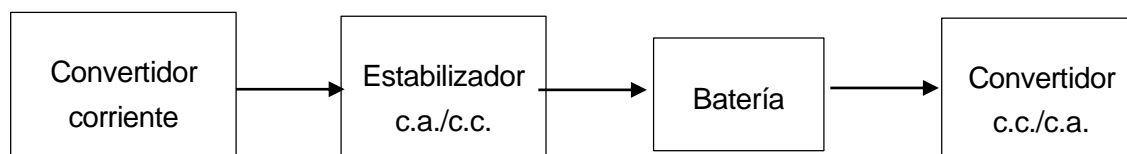


Fig. 7.3. Esquema de funcionamiento para el cálculo de fiabilidad de la alternativa 3.

La fiabilidad de la batería, como en este caso hay 3 conectadas en paralelo, es prácticamente 1, por lo que no se tendrá en cuenta. La fiabilidad de todo el sistema es:

$$R_{tot} = 0.99933 \times 0.9997 \times 1 \times 0.9997 = 0.99873$$

En esta alternativa se pierde un poco de fiabilidad debido a la incorporación de otro elemento, el convertidor de trifásica a monofásica, que no tienen las otras dos. Sin embargo, como tiene 3 baterías conectadas en paralelo, su fiabilidad sigue siendo mayor que la alternativa 1, que solo lleva una.

6.1.3. Criterio 3: Variación de la tensión

La variación de la tensión de la corriente suministrada a la feria la indica directamente la tabla de características del inversor proporcionada por el mismo fabricante.

6.1.3.1. Alternativa 1

En este caso la variación máxima es del 4 % de la tensión proporcionada.

6.1.3.2. Alternativa 2

La variación máxima de la tensión es la misma que en la alternativa 1 por ser el mismo inversor (4 %).

6.1.3.3. Alternativa 3

La variación máxima de la tensión es del 5 %.

6.1.4. Criterio 4: Seguridad

Todos los componentes tienen una seguridad excepcional para el uso que se les da. El único que es necesario tener en cuenta es la batería.

6.1.4.1. Alternativa 1

Las baterías Tesla son las más seguras del mercado y, además, solo hay una batería en el sistema, así que la seguridad se considera máxima.

6.1.4.2. Alternativa 2

Las baterías del Nissan Leaf han reportado algunos casos de accidentes. Además, hay 7 baterías de este tipo en este sistema, por lo que se considera una seguridad baja.

6.1.4.3. Alternativa 3

Las baterías del Renault Zoe son relativamente nuevas y más seguras que las del Nissan Leaf. Sin embargo, al tener 3 baterías en este sistema, se considera una seguridad alta pero no la máxima.

6.1.5. Criterio 5: Tiempo de montaje

El tiempo de montaje se ha estimado a partir del número de operarios necesarios y la cantidad de trabajo a realizar en cada alternativa.

6.1.5.1. Alternativa 1

El número de operarios necesarios, como se puede ver en el siguiente apartado, es 2. Al ser solamente 2 operarios, el tiempo de montaje se estima en más de 4 horas.

6.1.5.2. Alternativa 2

El número de operarios en este caso es 3, por lo que el tiempo de montaje se ha estimado entre 3 y 4 horas

6.1.5.3. Alternativa 3

El número de operarios es 2 y no hay que montar paneles, por lo que el tiempo de montaje se reduce drásticamente hasta menos de una hora.

6.1.6. Criterio 6: Operarios necesarios

El número de operarios necesarios se ha estimado a partir del peso y las dimensiones máximas a transportar, así como también las tareas a realizar para el montaje del sistema.

6.1.6.1. Alternativa 1

El número de operarios necesarios para esta alternativa se ha estimado en 2, ya que se trata de un sistema no excesivamente pesado componente a componente (los componentes más pesados a transportar son los paneles solares, que pesan 24 kg cada uno), y lo único que se tiene que mover son los paneles y la estructura para colocarlos.

6.1.6.2. Alternativa 2

En esta se han estimado 3 operarios necesarios, no tanto por el hecho de ser la instalación un poco más grande que la anterior, sino porque el sistema se tiene que transportar en un semirremolque de camión y la maniobrabilidad, descarga de los componentes y preparación del remolque son más complicados. Por todo lo dicho, es necesario un tercer operario.

6.1.6.3. Alternativa 3

En esta no hay que montar paneles solares, aun así, se necesita un segundo operario que ayuda a hacer las maniobras con el remolque o que ayude a desplegar los cables para la feria.

6.1.7. Criterio 7: Peso

El cálculo del peso ya se ha hecho en la descripción de cada alternativa, ya que era necesario para determinar el remolque a utilizar.

6.1.7.1. Alternativa 1

El peso del sistema con el remolque es 3231 kg.

6.1.7.2. Alternativa 2

El peso del sistema con el semirremolque es 7690 kg

6.1.7.3. Alternativa 3

El peso del sistema con el remolque es 2400 kg.

6.1.8. Criterio 8: Maniobrabilidad

Se ha estimado el tiempo de maniobras a partir de las dimensiones y el peso de los remolques que transportan el sistema de cada alternativa.

6.1.8.1. Alternativa 1

Se estima el tiempo de maniobras en media hora, ya que se trata de un remolque de utilitario bastante grande.

6.1.8.2. Alternativa 2

Se estima en 1 hora, ya que se trata de un semirremolque de camión relativamente pequeño.

6.1.8.3. Alternativa 3

Se estima en 15 minutos, ya que el remolque es de utilitario bastante pequeño.

6.1.9. Criterio 9: Medio de transporte**6.1.9.1. Alternativa 1**

Se necesita un utilitario para el remolque elegido.

6.1.9.2. Alternativa 2

Se necesita un camión para el remolque elegido.

6.1.9.3. Alternativa 3

Se necesita un utilitario para el remolque elegido.

6.1.10. Criterio 10: Dimensiones en funcionamiento

Las dimensiones de todo el sistema es la estructura de paneles junto con el vehículo utilitario y el remolque.

6.1.10.1. Alternativa 1

Las dimensiones en esta alternativa son 24 metros de largo por 5 de ancho, justo en el límite de anchura establecido por el criterio de filtro. Se han considerado las dimensiones del Audi Q7 como coche que transporta el remolque. La superficie ocupada es 120 m².

6.1.10.2. Alternativa 2

Las dimensiones de esta alternativa son 27.6 metros de largo por 5 de ancho, justo en el límite de anchura establecido por el criterio de filtro. Se han considerado las dimensiones de un camión patrón cargando el semirremolque. La superficie ocupada es 138 m².

6.1.10.3. Alternativa 3

Las dimensiones son 9.6 metros de largo por 3 de ancho, ya que no hay que montar paneles solares. Se ha considerado como vehículo utilitario de transporte el Audi Q7 otra vez. La superficie ocupada es 29 m².

6.1.11. Criterio 11: Tiempo desplegado

6.1.11.1. Alternativa 1

Este sistema tiene que estar desplegado para cargarse, y tarda todo el día en hacerlo. Sabiendo que el sol día 12 de julio en Porto Cristo sale a las 6 y media, el sistema tiene que estar desplegado desde esa hora hasta que se termine la feria, a medianoche. En total son 17.5 horas.

6.1.11.2. Alternativa 2

A esta alternativa le pasa exactamente lo mismo que en la alternativa 1, y tiene que estar desplegada 17.5 horas.

6.1.11.3. Alternativa 3

Esta alternativa no se va a cargar en Porto Cristo, por lo que el tiempo que va a estar el sistema desplegado es el mismo que va a estar suministrando energía: unas 10 horas.

6.1.12. Criterio 12: Impacto visual

En el apartado de restricciones, en espacio de la feria, se mencionaron las dos zonas con espacio libre de la feria donde se podía montar el sistema. Por las dimensiones y características de cada superficie, las dos primeras alternativas solo se pueden colocar en la zona A, situada al oeste de la feria.

Por suerte, la zona A es la que menos impacto visual genera para los visitantes de la feria, ya que está en un sitio más apartado que la zona B. Siendo así, el impacto visual se considerará teniendo en cuenta que los 3 sistemas se montan en la zona de menor impacto visual.

6.1.12.1. Alternativa 1

La estructura de los paneles es enorme, midiendo 3 metros de alto. Esto hace sea muy fácil de ver y cause un gran impacto visual.

6.1.12.2. Alternativa 2

Exactamente igual que en la alternativa 1. El camión y semirremolque no influyen mucho, ya que la estructura de paneles es más alta.

6.1.12.3. Alternativa 3

El tamaño reducido del sistema y al no tener que sacar ningún componente hacen que se pueda confundir con el entorno.

6.1.13. Criterio 13: Facilidad de uso

La facilidad de uso está influida por el espacio y la carga sobrante que tiene cada remolque de cada alternativa para cargar los cables y regletas necesarios para facilitar la conexión a los feriantes. También se tiene en cuenta la distancia que hay desde la instalación hasta la feria.

6.1.13.1. Alternativa 1

No hay mucho espacio sobrante el en remolque y solo se pueden cargar unos 250 kg más. Además, este sistema solo se puede montar en la zona A, que está más lejos de la feria, por lo tanto, la facilidad que podrá proporcionar a los feriantes será la más baja.

6.1.13.2. Alternativa 2

En el semirremolque de camión que utiliza esta alternativa sí sobra una gran cantidad de espacio y carga, por lo que no será un problema cargar con equipamiento eléctrico y cables

de sobra.

6.1.13.3. Alternativa 3

Este remolque tampoco dispone de mucho espacio ni carga sobrante, así que se encuentra en la misma situación que la alternativa 1. Sin embargo, gracias a las dimensiones reducidas de su instalación, se puede colocar en la zona B, la cual le permite tener que transportar menos cable para conectarse con la feria y puede proporcionar una mayor facilidad de uso.

6.1.14. Criterio 14: Contaminación acústica

Se valorará solamente la contaminación acústica que reciben los visitantes de la feria y feriantes. De esta forma, la zona A, que como ya se ha dicho está más lejos de la feria, tendrá una mayor puntuación que la zona B por ser menor el ruido que se escucha desde la feria.

6.1.14.1. Alternativa 1

Esta alternativa está colocada en la zona A. Los paneles solares no generan ruido de por sí. El inversor de este sistema produce, según el fabricante, 50 dB como máximo a 1 metro de distancia. Las baterías tampoco generan ruido. Se puede decir, pues, que no se oye desde la feria.

6.1.14.2. Alternativa 2

Esta alternativa tiene los mismos componentes que la alternativa 1 y está situada en la misma zona, por lo que el ruido también se considera nulo.

6.1.14.3. Alternativa 3

Esta alternativa está situada en la zona B, que está más cerca de la feria. Los únicos componentes que generan ruido son el convertidor y el inversor, cuyos fabricantes indican un ruido de 40 y 50 dB a 1 metro respectivamente. Claramente no se va a oír el ruido desde la feria, ya que 50 dB es un volumen muy bajo.

6.1.15. Criterio 15: Contaminación atmosférica

6.1.15.1. Alternativa 1

No contamina directa ni indirectamente, emite 0 kg.

6.1.15.2. Alternativa 2

No contamina directa ni indirectamente, emite 0 kg.

6.1.15.3. Alternativa 3

No contamina directamente pero sí indirectamente. La contaminación indirecta se ha calculado a partir del factor de emisión calculado por el Ministerio para la Transición Ecológica [31], que es de 0.41 kg de CO₂/kWh. Si se suministran 61.3 kWh, la cantidad de CO₂ que se ha liberado a la atmósfera es de 25.133 kg.

Estas emisiones se tienen que comparar con las emisiones que producen los generadores diésel portátiles. Según la misma fuente [31], las emisiones de estos son 2.868 kg de CO₂/l, que considerando un poder calorífico de 0.2778 kWh/l resulta en 10.32 kg de CO₂/kWh. La masa total de CO₂ que emite la feria funcionando con generadores de gasóleo es 632.9 kg.

Las emisiones que genera la alternativa 3 son solamente un 3.97 % de las que generaba la feria con sus generadores portátiles, así que se ha reducido el consumo en un 96.03 %, muy por encima de lo esperado.

6.1.16. Criterio 16: Coste

6.1.16.1. Alternativa 1

El desglose de precios está en la descripción de las alternativas. El coste aproximado es 22200 €.

6.1.16.2. Alternativa 2

El coste aproximado es 40400 €. El precio sube tanto debido a los paneles de mayor eficiencia, aunque gracias a estos se puede llenar una batería de bastante más capacidad.

6.1.16.3. Alternativa 3

El coste aproximado es 18800 €. El precio es más bajo que en el resto de alternativas ya que esta no tiene paneles solares y se carga con energía de la red eléctrica.

6.2. Pesos de los criterios

Antes de aplicar la matriz de valoración para cada alternativa, hay que asignar un peso a cada criterio de valoración. Para hacerlo se va a aplicar el método AHP (Analytic Hierarchy

Process).

Criterios	
Carga sobrante	C1
Fiabilidad	C2
Variación de la tensión	C3
Seguridad	C4
Tiempo de montaje	C5
Operarios necesarios	C6
Peso	C7
Maniobrabilidad	C8
Medio de transporte	C9
Dimensiones	C10
Tiempo desplegado	C11
Impacto visual	C12
Facilidad de uso	C13
Contaminación acústica	C14
Contaminación atmosférica	C15
Coste	C16

Fig. 7.4. Equivalencia entre criterios y nomenclatura.

En la Fig. 7.4. se pueden ver las correspondencias entre cada código y criterio. A partir de este punto se van a utilizar los códigos para optimizar espacio y facilitar la lectura de las siguientes tablas.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
C1	1	0.2	5	0.14	5	5	3	5	5	7	3	1	0.33	5	5	1
C2	5	1	7	0.33	5	7	5	7	7	9	5	3	3	7	7	3
C3	0.2	0.14	1	0.2	3	5	0.33	3	3	3	0.33	0.2	0.2	0.33	0.33	0.14
C4	7	3	5	1	9	9	3	7	7	7	5	3	3	7	7	3
C5	0.2	0.2	0.33	0.11	1	3	0.33	1	1	1	0.2	0.2	0.2	0.33	0.33	0.14
C6	0.2	0.14	0.2	0.11	0.33	1	0.2	0.33	3	3	0.2	0.2	0.2	0.33	0.33	0.14
C7	0.33	0.2	3	0.33	3	5	1	3	5	3	0.33	0.2	0.2	0.33	0.33	0.14
C8	0.2	0.14	0.33	0.14	1	3	0.33	1	0.33	1	0.2	0.2	0.2	0.33	0.33	0.14
C9	0.2	0.14	0.33	0.14	1	0.33	0.2	3	1	3	0.2	0.2	0.2	0.33	0.33	0.14
C10	0.14	0.11	1	0.14	1	0.33	0.33	1	0.33	1	0.14	0.14	0.14	0.2	0.2	0.11
C11	0.33	0.2	3	0.2	5	5	3	5	5	7	1	1	3	5	5	0.33
C12	1	0.33	5	0.33	5	5	5	5	5	7	1	1	3	5	5	0.2
C13	3	0.33	5	0.33	5	5	5	5	5	7	0.33	0.33	1	5	5	0.2
C14	0.2	0.14	3	0.14	3	3	3	3	3	5	0.2	0.2	0.2	1	1	0.14
C15	0.2	0.14	3	0.14	3	3	3	3	3	5	0.2	0.2	0.2	1	1	0.14
C16	1	0.33	7	0.33	7	7	7	7	7	9	3	5	5	7	7	1
Suma	20.2	6.74	49.2	4.11	53.3	66.7	39.7	59.3	60.7	78	20.3	16.1	20.1	45.2	45.2	9.96

Fig. 7.5. Matriz de criterios relativos.

No se va a incluir la matriz normalizada de criterios, ya que se trata simplemente de un cálculo.

Vector peso de los criterios	
C1	0.0785661
C2	0.15490879
C3	0.02756859
C4	0.18877661
C5	0.01567977
C6	0.01510548
C7	0.03616017
C8	0.01488927
C9	0.01658109
C10	0.01162077
C11	0.0728261
C12	0.08295393
C13	0.0782483
C14	0.03458005
C15	0.03458005
C16	0.13695495

Fig. 7.6. Peso de cada criterio.

Por suerte, la ratio de consistencia de estos pesos es de 0.984, por lo que no hay que repetir la matriz de criterios relativos. Así pues, los pesos de la Fig. 7.6. son los que se utilizarán en la matriz multicriterio.

6.3. Matriz multicriterio

Una vez se saben las valoraciones de todos los criterios y el peso de cada uno, se puede hacer la matriz multicriterio.

Criterio	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
C1	0.0785661	2	4	3
C2	0.15490879	1	5	4
C3	0.02756859	4	4	3
C4	0.18877661	5	2	4
C5	0.01567977	1	2	4
C6	0.01510548	4	3	4
C7	0.03616017	2	1	3
C8	0.01488927	3	2	4
C9	0.01658109	4	2	4
C10	0.01162077	1	1	4
C11	0.0728261	1	1	5
C12	0.08295393	1	1	4

C13	0.0782483	1	5	2
C14	0.03458005	5	5	5
C15	0.03458005	5	5	5
C16	0.13695495	5	1	5
Nota con pesos aplicados	2.90183695	2.79381055	3.98014977	

Fig. 7.7. Matriz multicriterio.

Como se puede ver en la Fig. 7.7., la alternativa con mayor puntuación, con diferencia, es la 3. Curiosamente se trata del sistema sin paneles solares.

Esta alternativa se ha visto beneficiada por su alta fiabilidad (debido a las 3 baterías), poco tiempo en estado desplegado, mínimo impacto visual, poco tiempo para su recarga y el peso y coste reducidos. El resto de alternativas no pueden competir con estas ventajas, y esto se debe principalmente a la necesidad energética de la feria.

El consumo de la feria, situado en 61.3 kWh, es muy elevado para tener que alimentarla por completo mediante paneles solares. Estos tendrían que estar instalados durante todo el día anterior para almacenar la energía necesaria y no tener que montar y transportar esta cantidad absurda de paneles. En este caso se ha preferido invertir en más paneles o en paneles más eficientes para poder recargar la batería en un solo día, pero esto encarece el precio y causa un alto impacto visual.

Esto ya se podía intuir viendo las pocas opciones que había en el mercado (detalladas en el estudio de mercado) que pudieran abastecer las necesidades energéticas de la feria.

La red de energía eléctrica de España, por otro lado, emite muchas menos emisiones de lo que se esperaba, siendo en la práctica una alternativa casi igual de ecológica que el tener que transportar los paneles solares hasta el lugar, pero este cálculo se deja para el estudio de impacto ambiental.

6.4. Posibles mejoras de la solución elegida

Como se ha dicho anteriormente, una vez elegida la mejor alternativa de las tres podría ser que se pudiera mejorar su valoración, de esta forma se conseguiría una solución todavía mejor.

Para comprobar esto, se va a estudiar qué criterios tienen más margen de mejora en la alternativa 3.

Posible margen de mejora	
C13	0.2347449

C4	0.18877661
C1	0.1571322
C2	0.15490879
C12	0.08295393
C7	0.07232034
C3	0.05513718
C9	0.01658109
C5	0.01567977
C6	0.01510548
C8	0.01488927
C10	0.01162077
C11	0
C14	0
C15	0
C16	0

Fig. 7.8. Posible margen de mejora de cada criterio para la alternativa 3 en valor absoluto sobre la nota final, ordenados de mayor a menor.

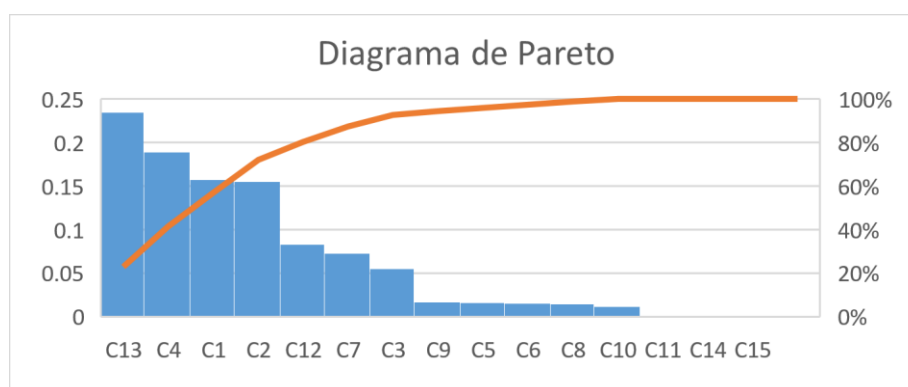


Fig. 7.9. Diagrama de Pareto de los criterios con más margen de mejora.

Gracias al diagrama de Pareto se sabe que los criterios que se va a intentar mejorar son los C13, C4, C1 y C2, es decir, facilidad de uso, seguridad, carga sobrante y fiabilidad.

6.4.1. Facilidad de uso

La razón por la que esta alternativa tiene una puntuación relativamente baja en este criterio es porque no tiene mucho espacio ni carga de sobra en el remolque para llevar los cables y equipamiento eléctrico que facilitan el uso de la línea a los feriantes.

Hay que estudiar, pues, la posibilidad de aumentar las dimensiones y la carga máxima del remolque. El problema al hacer esto es que puede empeorar la valoración de los criterios peso (C7), maniobrabilidad (C8), medio de transporte (C9), dimensiones (C10), impacto visual

(C12) y coste (C16).

Dentro de la oferta del mismo fabricante, cualquier remolque de mayor carga es de 3500 kg de MMA, y el más pequeño de esta categoría, cuyas dimensiones son más que suficientes para transportar todo el material eléctrico necesario, mide 3000mm × 1730mm × 1830 mm. Es el Ifor Williams Box Van BV106 6'[29]. Hay que ver ahora cómo afecta este nuevo remolque a los criterios mencionados.

Criterio	Peso	Valoración anterior	Valoración nueva	Incremento
C7	0.03616017	3	2	-0.03616
C8	0.01488927	4	3	-0.01489
C9	0.01658109	4	4	0
C10	0.01162077	4	4	0
C12	0.08295393	4	4	0
C13	0.0782483	2	5	0.2347449
C16	0.13695495	5	5	0
INCREMENTO TOTAL				0.18369546

Fig. 7.10. Variación de la puntuación al intentar aumentar la facilidad de uso.

Se puede ver en la Fig. 7.10. que la puntuación que se pierde al cambiar el remolque es bastante más pequeña que la puntuación ganada por la mejora de la facilidad de uso, que es de 0.2347449. La nueva matriz multicriterio para la alternativa 3 mejorada (llamada 3B) es:

Criterio	Peso	Alternativa 3B
C1	0.0785661	3
C2	0.15490879	4
C3	0.02756859	3
C4	0.18877661	4
C5	0.01567977	4
C6	0.01510548	4
C7	0.03616017	2
C8	0.01488927	3
C9	0.01658109	4
C10	0.01162077	4
C11	0.0728261	5
C12	0.08295393	4
C13	0.0782483	5
C14	0.03458005	5
C15	0.03458005	5
C16	0.13695495	5
Nota con pesos aplicados		4.16384523

Fig. 7.11. Matriz multicriterio de la nueva alternativa 3B.

6.4.2. Seguridad

Por desgracia, la seguridad de esta alternativa no se puede mejorar sin tener que cambiar por completo la alternativa, por lo que no se va a intentar mejorar este criterio.

6.4.3. Carga sobrante

Al igual que la seguridad, para mejorar la valoración en este criterio hay que cambiar el modelo de las baterías (ya que no se puede comprar media batería) y variaría demasiado el resto de valoraciones, así que no se va a intentar mejorar este criterio.

6.4.4. Fiabilidad

Este criterio tampoco es mejorable, ya que para hacerlo hay que cambiar por completo la estructura de los componentes de funcionamiento. Así pues, no se va a intentar mejorar tampoco este criterio.

7. Solución final

La solución final después del análisis de las alternativas y la mejora de los criterios más relevantes se descompone de la siguiente forma.

7.1. Baterías

Las baterías elegidas son las del Renault Zoe ZE 40, un modelo que se empezó a fabricar en el 2016 y que lleva una batería de las siguientes características:

Especificaciones	
Tipo de batería	Litio-polímero
Constante de carga C	0.5 C a 1 C
Potencia máxima recomendada	15.375 kW a 30.75 kW
Capacidad	46 kWh
Capacidad usable	41 kWh
Capacidad restante tras su retirada	30.75 kWh
Voltaje nominal	345.6 V
Voltaje máximo	400 V
Peso	305 kg
Número de módulos	16
Dimensiones de cada módulo	325mm x 125mm x 184 mm

Fig. 8.1. Especificaciones técnicas de la batería del Renault Zoe utilizada en el sistema.

En este sistema se van a instalar 3 baterías de este tipo conectadas en paralelo, por lo que la potencia máxima y la capacidad restante va a ser el triple de la indicada.

7.2. Carga de las baterías

Como ya se ha dicho antes, la batería del sistema se va a cargar en el punto de carga de Endesa-Repsol de Manacor. Este punto de carga tiene una potencia de 22 kW y permite cargar la batería por completo en 4 horas y 15 minutos. Su uso tiene un coste de unos 0.5 €/kWh. El punto de carga también en Manacor de Lidl se había contemplado como una opción viable, pero se ha descubierto *a posteriori* que este solo permite recargas de hasta 2 horas de duración.

En caso de no estar disponibles los puntos de carga en Manacor se puede recurrir al de Artá, que es gratuito, pero solo hasta el 2020, o al de Petra, exactamente igual, aunque estos dos cargan a 11.4 kW y la batería tardará un poco más de 8 horas en cargarse por completo.

También se puede cargar la batería en cualquier otro sitio el día anterior, esto ya depende de dónde proceda el remolque y la disponibilidad de los puntos de carga, que se puede consultar en cualquier momento en directo.

Los dos puntos de carga en Manacor provienen de energías verdes, es decir, de fuentes renovables sin emisiones de gases contaminantes. Se desconoce si los puntos alternativos de Artá y Petra también tienen esta ventaja.

La batería no se puede cargar en estaciones de carga de 50 kW, ya que tienen un voltaje de 500 V, que es incompatible con el convertidor del sistema y podría dañar el inversor o la batería. En cambio, sí se podría cargar en una estación de carga de conector Shucko, el cual tiene un voltaje de 230 V de corriente monofásica, aunque su baja potencia (3.5 kW) haría que la carga fuese demasiado lenta.

7.3. Inversor cargador

El inversor cargador elegido es el AIMS Power Pure Sine Inverter Charger [14], que tiene las especificaciones técnicas siguientes:

Especificaciones	
Entrada de corriente continua	
Voltaje nominal	300 V c.c.
Rango voltaje admitido	200-600 V c.c.
Entrada de corriente alterna	
Voltaje entrada	115/230 V c.a.
Salida de corriente alterna	
Potencia	30 kW
Tipo de onda	Sinusoide pura
Voltaje	230 V c.a.
Variación de voltaje	<5 %
Frecuencia	50 Hz
Eficiencia inversor	>94 %
Peso	260 kg
Ruido	<50 dB a 1 m
Dimensiones	650mm x 750mm x 1100 mm

Fig. 8.2. Especificaciones técnicas del inversor cargador del sistema.

El inversor cargador se va a conectar a las baterías en su entrada de corriente continua, para poder así cargarlas y convertir su corriente en alterna a 230 V para suministrarla a la feria.

Nótese que la entrada para cargar la batería tiene un voltaje de 230 V. Los puntos de carga que se han mencionado tienen un voltaje de 400 V y además son trifásicos, por lo que se

necesita un convertidor de trifásica a monofásica.

7.4. Convertidor

El convertidor, como se ha dicho ya, permite convertir la corriente trifásica a monofásica a la tensión adecuada para que la admita el cargador de las baterías. Se va a utilizar el Sandi 3 phase converter. Estas son sus especificaciones técnicas:

Especificaciones	
Entrada de corriente trifásica	
Voltaje	400 V
Rango voltaje admitido	380-440 V
Salida de corriente monofásica	
Potencia	30 kW
Tipo de onda	Sinusoide pura
Voltaje	230 V c.a.
Variación de voltaje	1 %
Frecuencia	50 Hz
Eficiencia inversor	>94 %
Peso	260 kg
Ruido	<40 dB a 1 m
Dimensiones	600mm x 700mm x 1000 mm

Fig. 8.3. Especificaciones técnicas del convertidor del sistema.

En el convertidor se va a conectar el inversor en la salida monofásica y el punto de carga Type 2 en la entrada trifásica a 400 V.

7.5. Remolque

El remolque que se va a utilizar para el sistema solución es el lfor Williams Box Van BV106 6' [29], el cual ya se ha dicho en el apartado de las posibles mejoras de la solución que aumentaba la valoración del sistema significativamente. El incremento de espacio y carga hacen que se puedan transportar más cables y equipamiento eléctrico de repuesto para facilitar las conexiones en la feria. Además, los componentes podrán respirar mejor y no sufrirán tanta acumulación de calor. Estas son las especificaciones técnicas del remolque:

Especificaciones	
Masa Máxima Autorizada	3500 kg
Peso en vacío	985 kg
Longitud	3 m
Anchura	1.73 m
Altura	1.83 m

Fig. 8.4. Especificaciones técnicas del remolque.



Fig. 8.5. Parte delantera del remolque Box Van BV106 6'.

En la Fig. 8.5. se puede ver que el remolque dispone de una rueda que ayuda a mantener el remolque horizontal. En esta parte delantera hay una puerta desde la que se puede acceder al remolque.



Fig. 8.6. Parte trasera del remolque Box Van BV106 6'.

En la parte trasera (Fig. 8.6.) hay una rampa para facilitar la carga y descarga de material y dos patas de apoyo para que no se incline el remolque al mover la carga.

Como se ha aumentado el tamaño del remolque, se pueden reestructurar los módulos de la batería para que no se calienten tanto. Así pues, las dimensiones de la batería serán 1300 de largo, 500 de ancho y 552 de alto.

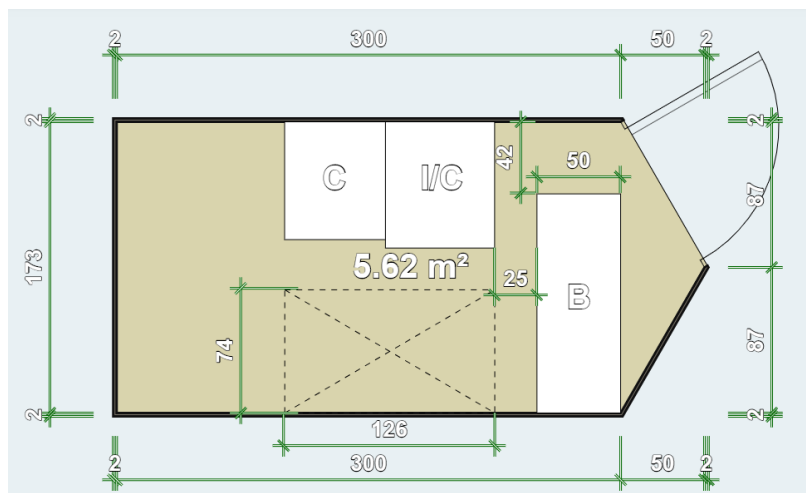


Fig. 8.7. Planta del remolque con la batería, el conversor y el inversor/cargador dentro. El rectángulo de líneas discontinuas es el espacio restante para colocar los cables y equipamiento eléctrico de repuesto.

En la Fig. 8.7. se puede ver que todavía hay espacio más que suficiente para poner el material eléctrico.

Al diseñar la colocación de los componentes se han tenido varias cosas en cuenta, aparte de que cupieran todos los componentes:

- La repartición de masas tiene que ser uniforme, sobre todo en el eje x de la Fig. 8.7., es decir, el remolque no puede tener todo el peso en un lado. Esto podría provocar inestabilidad en el remolque o dañar los ejes.
- Tiene que haber suficiente espacio para operar los aparatos y poder llegar a cualquier punto de estos.
- Hay que dejar un metro de margen sin utilizar en la parte posterior del remolque, para evitar que componentes estén apoyados en la rampa y caigan en abrirla y para poder subir en el remolque en caso de emergencia.

7.6. Instalación

El sistema no requiere ninguna instalación para funcionar, pero sí para poder suministrar la energía de las baterías a toda la feria.

Como se ha dicho anteriormente, la zona elegida para la instalación del sistema es la zona B

(Fig. 5.3.), ya que se encuentra más cerca de la mayoría de stands de la feria. El criterio de valoración de facilidad de uso se ha establecido en 5, lo cual significa que el feriante no tendrá que traer ningún alargador ni regleta para su stand, porque se lo va a proporcionar el sistema. Así pues, se tendrá que comprar material suficiente para hacer toda la instalación eléctrica.

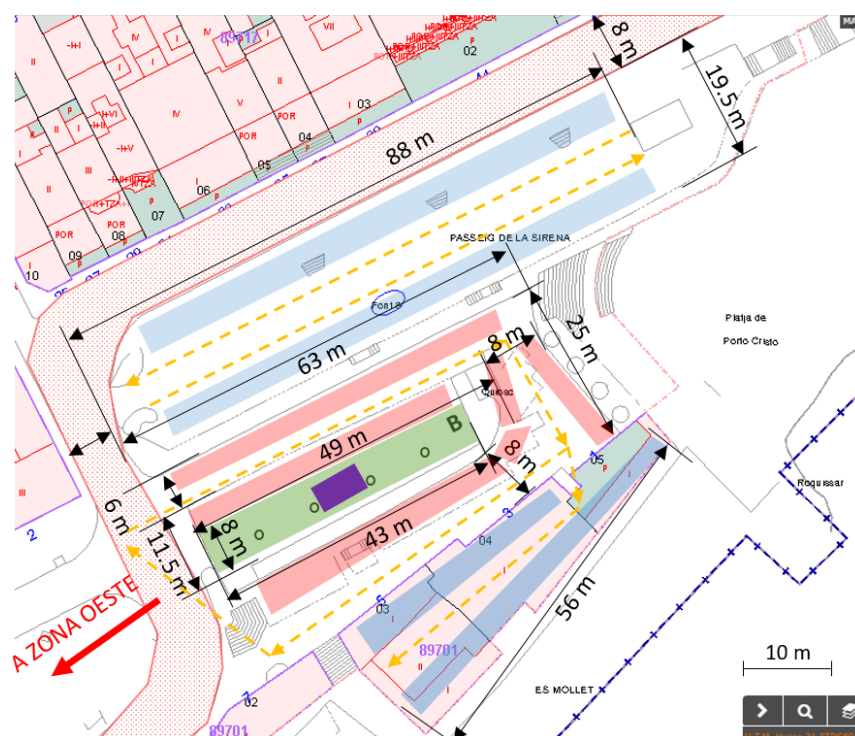


Fig. 8.8. Plano de la zona este de la feria nocturna.

El remolque y el vehículo van a estar estacionados aproximadamente en el rectángulo púrpura de la Fig. 8.8. Los rectángulos rojos y azules, hay que recordar, son las filas de stands de la feria que hay que alimentar.

Por cuestiones de brevedad no se va a representar el esquema eléctrico de la zona, pero se ha estimado la longitud necesaria de cables en esta zona de unos 500 metros. En la zona oeste, se han estimado unos 350 metros más, que juntos llegan a los 850 metros de cable.

Los cables que se van a elegir para esta instalación deben aguantar la intensidad de la línea. La intensidad máxima se puede calcular con la potencia máxima que necesita la feria, menos de 20 kW, y el voltaje de la línea, 230 V. La intensidad máxima que puede circular por los cables es de 87 A.

Sin embargo, los cables que pueden aguantar esta intensidad no son para nada económicos, e igualmente, no es necesario que todos los cables admitan esta intensidad, ya que la intensidad se divide equitativamente al encontrarse un nudo.

Es por esto que se aproxima que la necesidad de cables de alto amperaje (40 A) está en 300 metros y la de cables de amperaje medio (15) en 600.

8. Viabilidad económica

8.1. Costes

Los costes del proyecto se han calculado suponiendo la producción de un solo producto, aunque, como se dijo en la introducción, la producción se puede ampliar al haber otras ferias con las mismas necesidades. Sin embargo, no entra en el alcance del proyecto.

Otra cosa que se ha tenido en cuenta es que, siendo los Ayuntamientos los interesados en este sistema, probablemente no quieran asumir una inversión tan alta para cubrir una demanda de un día al año. Es por esto que se ha considerado el alquiler del producto como modelo de ingresos. De esta forma, se dispone de personal cualificado que puede operar los aparatos eléctricos de alto voltaje y transportar la mercancía peligrosa (las baterías de litio), y el Ayuntamiento no tiene que preocuparse del mantenimiento del equipo.

Así pues, el coste del vehículo que se va a utilizar para tirar del remolque se va a incluir en el coste total del proyecto.

8.1.1. Costes de ingeniería

Descripción	Precio/hora	Horas	Precio
Ingeniero industrial	16 €/h	150	2400 €
Técnico eléctrico	14 €/h	24	336 €
SUBTOTAL			2736 €
Seguridad Social (31 %)			848.16 €
TOTAL			3584.16 €

Fig. 9.1. Costes de ingeniería del proyecto.

En los costes de ingeniería se han tenido en cuenta las horas de trabajo del equipo de diseño y las de los técnicos que han hecho las pruebas con el producto final antes de empezar con la operación de este en el laboratorio. Estas pruebas consisten en asegurarse que el producto funciona, que genera un voltaje y una potencia adecuadas y se carga correctamente.

8.1.2. Costes de los componentes

Componente	Precio unidad	Unidades	Precio
Batería Zoe ZE40	1400 €	3	4200 €
Convertidor	2400 €	1	2400 €
Inversor cargador	8890 €	1	8890 €
Cables instalación 14 AWG	221.07 €	3	663.21 €
Cable instalación 10 AWG	108.28 €	4	433.12 €
Remolque BV106 6'	4646 €	1	4646 €

Toyota Landcruiser	38800 €	1	38800 €
TOTAL			55386.33 €

Fig. 9.2. Costes de los componentes del sistema solución.

En los costes de los componentes se han considerado todos los gastos que hay que hacer inicialmente para que funcione el sistema. Como se puede ver, también se ha incluido el vehículo de carga, ya que se ha considerado parte de la solución final.

8.1.3. Costes de montaje y operación

Los costes de montaje en este caso son la preparación del material recibido para realizar la instalación en el remolque de los componentes. Estos costes solo ocurrirán una vez para este remolque, aunque se repetirán para cada remolque que se adquiriera demás.

Por otro lado, los costes de operación ocurren cada vez que se utiliza el producto, por lo tanto, dependen de cada operación y de las características de cada caso.

Descripción	Precio/hora	Horas	Precio
Técnico eléctrico	14 €/h	48	672 €
Operario de carga	12 €/h	24	288 €
SUBTOTAL			960 €
Seguridad Social (31 %)			297.6 €
TOTAL			1257.6 €

Fig. 9.3. Costes de montaje.

Los costes de operación son más difíciles de calcular, ya que son variable en función del trabajo a realizar.

Descripción	Precio
Técnico eléctrico	14 €/h
Operario de carga	12 €/h
Seguridad Social (31 %)	8.06 €/h
Consumo gasóleo	14.4 €/100km
Recarga energía	50 €
Otros gastos	100 €/día

Fig. 9.4. Costes de operación variables.

Los costes de operación variables son:

$$C_{op} = 46.56 \times h + 0.288 \times d + 50$$

Siendo h las horas del trabajo y d la distancia hasta la zona de la instalación.

8.2. Presupuesto

Descripción	Precio
Costes de ingeniería	3584.16 €
Costes de componentes	55386.33 €
Costes de montaje	1257.6 €
Costes de campaña de marketing	~3000 €
SUBTOTAL	63228.09 €
Beneficio industrial (15 %)	9484.21 €
SUBTOTAL	72712.3 €
IVA (21 %)	15269.58 €
TOTAL	87981.88 €

Fig. 9.5. Presupuesto de venta del proyecto.

En la Fig. 9.5. no se han tenido en cuenta los costes variables, ya que estos solamente servirán para calcular el período de retorno de la inversión y otros datos similares.

8.3. Modelo económico-financiero

8.3.1. Ingresos

El precio de venta al consumidor, es decir, la persona u organización que contrata el servicio de suministro de energía portátil, depende del servicio a realizar. Con estos precios variables se van a cubrir los costes variables de operación. Los precios especificados a continuación son para el sistema diseñado en este proyecto, es decir, para una necesidad energética y dimensiones similares a las de la feria de Porto Cristo.

$$\text{Precio} = 50 \times h + 800$$

De esta forma el precio consiste en una cuota fija de 500 € y una variable que depende de la duración de la feria y por lo tanto de la duración del servicio contratado.

Para calcular los ingresos que esto genera se ha supuesto la duración media de las ferias en 12 horas: 5 horas de feria, 3 de transporte e instalación/desinstalación y 4 de recarga de la batería. Las horas que se cobran de trabajo al cliente son solamente las de duración de la feria.

De este modo el ingreso medio para cada servicio, suponiendo una distancia media de 50 km (la zona de trabajo es Mallorca) hasta el almacén en el que está el remolque, es de 1050 €.

Los gastos de operación para cada uno de estos servicios son 623 €, con lo que el beneficio medio es de 427 € por servicio realizado.

Solamente realizando un servicio por semana, lo cual es poco optimista, los ingresos anuales son de 54600 €, mientras que los gastos asociados a estos servicios son de 32396 €.

8.3.2. Análisis de rentabilidad

Año	0	1	2	3	4
Flujo de ingresos	0	54600 €	54600 €	54600 €	54600 €
Flujo de egresos	87982 €	32396 €	32396 €	32396 €	32396 €
Flujo de caja	-87982 €	22204 €	22204 €	22204 €	22204 €

Fig. 9.6. Flujo de caja.

El VAN a 5 años, teniendo en cuenta una inflación media en los próximos años de un 1.5 %, resulta en:

$$VAN = -87982 + \frac{22204}{1.015} + \frac{22204}{1.015^2} + \frac{22204}{1.015^3} + \frac{22204}{1.015^4} + \frac{22204}{1.015^5} = 18211.85 \text{ €}$$

Es una inversión, entonces, que se recupera a los 4.2 años aproximadamente y con un TIR de un 8 % en 5 años.

9. Viabilidad ambiental

La viabilidad ambiental, en el caso de este proyecto, no tiene muchos besantes. Como actos posiblemente perjudicantes para el medio físico o social, solo se tienen:

- Emisiones de gases contaminantes generados por el vehículo que transporta el remolque. El vehículo es diésel, por lo que va a emitir gases en el camino hasta la zona donde se realice la instalación.
- Emisiones de gases contaminantes generados para generar la energía con la que se carga la batería del sistema.
- Emisiones de ondas acústicas molestas para la gente.
- Impacto visual causado en el ambiente de la feria.

9.1. Emisiones de gases contaminantes

Ya se ha dicho que el vehículo de carga es de tipo diésel. Según el fabricante, la contaminación media del vehículo es de 199 g/km. Teniendo en cuenta que el peso del vehículo es de 2700 kg y que el remolque cargado puede pesar hasta 3000 kg, se ajustará la contaminación media del vehículo con el remolque a 2.5 veces la indicada por el fabricante. Esto resulta en 500 g/km.

Siguiendo el modelo económico planteado en la viabilidad económica, el cual sugiere una media de 100 km en cada servicio y 52 servicios al año, en un año se emitirán aproximadamente 2600 kg de CO₂.

Por otro lado, está la contaminación indirecta por parte de la energía con la que se carga la batería de 92.25 kWh. La estación de carga que se ha elegido, como ya se ha dicho en el apartado de la solución final, utiliza fuentes de energía renovable. Por este motivo no se van a considerar las emisiones indirectas por la carga del sistema.

Como método de comparación, las emisiones generadas durante la misma feria supuestamente alimentada por generadores de gasóleo (siguiendo las emisiones publicadas por el Ministerio para la Transición Ecológica [31]) son 632.9 kg de CO₂. Las emisiones producidas por el vehículo de carga al hacer 100 km son aproximadamente 50 kg de CO₂, menos de un 8 %.

9.2. Contaminación acústica en la feria

Ya se indicó también en la explicación de la solución final que el ruido generado por los componentes del sistema es menor que 50 dB, algo que será inaudible por los visitantes de la feria o feriantes.

Además, este ruido solo se va a generar desde las 14 horas hasta las 24 horas, es decir, durante el tiempo que tenga que funcionar algún aparato de la feria. Cualquier aparato que esté en funcionamiento va a generar más ruido que los componentes del sistema, por lo que se considera la contaminación acústica generada por el sistema nula, más allá de la que puede generar el vehículo durante sus maniobras de llegada o de partida

9.3. Impacto visual

El impacto visual del sistema ya se valoró como criterio de valoración. En la matriz multicriterio (Fig. 7.6.), se puede ver que este tiene una puntuación de 4 sobre 5. La máxima puntuación solo podría conseguirlo si no se pudiera ver, pero esto implicaría otra solución totalmente distinta.

Dicho esto, no se considera que el impacto visual sea significativo ni molesto por los visitantes de la feria o vecinos. El sistema necesita estar poco tiempo en la zona y los stands de la feria lo disimulan, ya que tienen unas dimensiones mayores y están colocados justo delante de este.

10. Programación

T1	Comprar componentes
T2	Tramitar permisos circulación mercancías peligrosas
T3	Recibir componentes
T4	Preparar cables y conectores
T5	Preparar baterías
T6	Pruebas de funcionamiento
T7	Montaje en el remolque
T8	Simulación de servicio
T9	Lanzamiento

Fig. 11.1. Equivalencias entre las tareas del diagrama de Gantt y el código utilizado.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T1									
T2									
T3									
T4									
T5									
T6									
T7									
T8									
T9									

Fig. 11.2. Diagrama de Gantt de la producción del proyecto.

Como se puede ver en el diagrama de Gantt (Fig. 11.2.), la producción estaría terminada en unas 9 semanas. No se ha cubierto la etapa de distribución y marketing ya que, como ya se ha dicho en la introducción del proyecto, no forma parte del alcance de este.

11. Bibliografia

- [1] ROCA, Ramón, *Las ventas de vehículos eléctricos crecen un 63 % en 2018 y superan los 2 millones en el mundo*. [En línea] Barcelona: 2019. [Consultado el 12-julio-2019]. Disponible en internet: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-ventas-de-vehiculos-electricos-crecen-un-63-en-2018-y-superan-los-2-millones-en-el-mundo/>
- [2] TD WORLD, Transmission & Distribution World, *The Power of Reusing Electric Vehicle Batteries*. [En línea]. [Consultado el 1-septiembre-2019]. Disponible en internet: <https://www.tdworld.com/electrification/power-reusing-electric-vehicle-batteries>
- [3] KONTSON, Ermo, *Reusing old EV (Electric Vehicle) batteries*. [En línea] Barcelona: 2019. [Consultado el 12-julio-2019]. Disponible en internet: https://smartencity.eu/media/tartu_lh_solution_reusing_old_ev_batteries.pdf
- [4] ENGEL, Hauke, HERTZKE, Patrick, SICCARDO, Giulia, *Second-life EV batteries: The newest value pool in energy storage*. [En línea] New York: 2019. [Consultado el 12-julio-2019]. Disponible en internet: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/second-life-ev-batteries-the-newest-value-pool-in-energy-storage>
- [5] TORRES CARRERAS, Magdalena, *Normes de participació i de funcionament de la fira nocturna ocasional de Porto Cristo*. [En línea] Manacor: 2019. [Consultado el 23-agosto-2019]. Disponible en internet: http://www.visitmanacor.com/images/stories/Noticies/normes_fira_porto_cristo_2019.pdf
- [6] ECOSUN INNOVATIONS, *Trailer-Watt Solar Trailer*. [En línea]. [Consultado el 16-julio-2019]. Disponible en internet: <https://www.ecosuninnovations.com/en/products/trailer-wattr-solar-trailer>
- [7] GREEN TOW, *Trailer Models*. [En línea]. [Consultado el 16-julio-2019]. Disponible en internet: <http://greentow.com/models/>
- [8] ECOSUN INNOVATIONS, *Mobil Watt Solar Container*. [En línea]. [Consultado el 16-julio-2019]. Disponible en internet: <https://www.ecosuninnovations.com/en/products/mobil-wattr-solar-container>
- [9] ADRASE, Acceso a Datos de Radiación Solar de España, *Datos mensuales sobre la irradiación solar global sobre plano horizontal en Porto Cristo*. [En línea]. [Consultado el 20-agosto-2019]. Disponible en internet: http://www.adrase.com/adrasemaps/php/monthly_popup.php?lat=39.53&lon=3.22&var_tipe=0
- [10] CATASTRO, Sede Electrónica del Catastro, *Cartografía de la zona del puerto de Porto Cristo*. [En línea]. [Consultado el 15-agosto-2019]. Disponible en internet: [https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?pest=urbana&from=OV_CBusqueda&ZV=NO&RCCompleta=&via=BORDILS&tipoVia=CL&numero=&kilometro=&bloque=&escalera=&planta=&puerta=&DescProv=ILLES%20BALEARS&prov=7&muni=33&DescMuni=MANACOR&TipUR=U&codvia=403&comVia=BORDILS%20\(CALLE\)&tc=U&del=7&mun=33](https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?pest=urbana&from=OV_CBusqueda&ZV=NO&RCCompleta=&via=BORDILS&tipoVia=CL&numero=&kilometro=&bloque=&escalera=&planta=&puerta=&DescProv=ILLES%20BALEARS&prov=7&muni=33&DescMuni=MANACOR&TipUR=U&codvia=403&comVia=BORDILS%20(CALLE)&tc=U&del=7&mun=33)
- [11] DGT, Dirección General de Tráfico, *Código de Tráfico y Seguridad Vial*. [En línea]. [Consultado el 23-agosto-2019]. Disponible en internet: https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/codigo.php?id=020_Codigo_de_Trafico_y_Seguridad_Vial&modo=1
- [12] LAMBERT, Frederic, *Tesla battery degradation at less than 10 % after over*

- 160 000 miles, according to latest data. [En línea]. [Consultado el 25-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://electrek.co/2018/04/14/tesla-battery-degradation-data/>
- [13] LAMBERT, Frederic, *Teardown of new 100 kWh Tesla battery pack reveals new cooling system and 102 kWh capacity*. [En línea]. [Consultado el 25-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://electrek.co/2017/01/24/tesla-teardown-100-kwh-battery-pack/>
- [14] THE INVERTER STORE, *30kW pure sine power inverter charger 300 vdc 240 vac split phase*. [En línea]. [Consultado el 26-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://theinverterstore.com/product/30kw-pure-sine-power-inverter-charger-300-vdc-240-vac-split-phase/>
- [15] WRIGHT, David, *Request for issuance of a new certificate of Conformity - 2017 MY Model S AWD*. [En línea] Michigan: Traverwood, 2016. [Consultado el 26-agosto-2019]. Disponible en internet: https://iaspub.epa.gov/otaqpub/display_file.jsp?docid=39828&flag=1
- [16] AUTOSOLAR, *Panel Solar 330W 24V Talesun Policristalino*. [En línea]. [Consultado el 27-agosto-2019]. Disponible en internet: https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-330w-24v-talesun-policristalino?gclid=Cj0KCQjw5MLrBRCIARIsAPG0WGy2bWYafHcu_uGT9oLB6LKMtjcKzmJ4mIJCTNrrOQICaeSFm3yFWx8aApV0EALw_wcB
- [17] QNOVO INCORPORATED, *Inside the battery of a Nissan Leaf*. [En línea] California: Newark, 2015. [Consultado el 27-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://qnovo.com/inside-the-battery-of-a-nissan-leaf/>
- [18] ROPER, L. David, *Tesla Model S*. [En línea] Virginia: Blacksburg, 2019. [Consultado el 28-agosto-2019]. Disponible en internet: <http://www.roperrld.com/science/teslamodels.htm>
- [19] SUNPOWER, *X-Series Commercial Solar Panels Datasheet*. [En línea]. [Consultado el 28-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://us.sunpower.com/sites/default/files/media-library/data-sheets/sunpower-x-series-commercial-solar-panels-x22-360-com-datasheet-514617-revc.pdf>
- [20] DUALSUN, *What is the optimal orientation and tilt angle for solar panels?* [En línea]. [Consultado el 28-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://news.dualsun.com/co-en/12/2014/what-is-the-optimal-orientation-and-tilt-angle-for-solar-panels/>
- [21] MERKASOL, Merkasol Energías Renovables, *Estructura Suelo FV935 Paneles Solares SUNFER*. [En línea]. [Consultado el 28-agosto-2019]. Disponible en internet: https://www.merkasol.com/epages/62387086.sf/en_GB/?ObjectPath=/Shops/62387086/Products/estructura048
- [22] LIMA, Pedro, *Renault ZOE ZE 40 full battery specs*. [En línea]. [Consultado el 29-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://pushevs.com/2019/02/10/renault-zoe-ze-40-full-battery-specs/>
- [23] AYRE, James, *Details On Renault Zoe ZE 40 Battery Packs*. [En línea]. [Consultado el 29-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://cleantechnica.com/2016/10/11/details-renault-zoe-ze-40-battery-packs/>
- [24] HERNÁNDEZ HERNANZ, Alberto, *Renault ZOE: ¿alquiler o compra de las baterías?* [En línea]. [Consultado el 29-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://www.top10motor.com/renault-zoe-alquiler-o-compra-de-las-baterias/>
- [25] ELECTROMAPS, Electromaps Borderless Charging, *Mapa de puntos de*

- carga. [En línea]. [Consultado el 30-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://www.electromaps.com/mapa#>
- [26] ZHEJIANG SANDI ELECTRIC CO., *3 Phase/Three Phase Converter*. [En línea]. [Consultado el 30-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://www.sandielectric.com/3-phase-three-phase-converter-3804153.html>
- [27] FOSHAN SNAT ELECTRICAL TECHNOLOGY CO., *30 kW Three-Phase Solar Inverter with Built-in Solar Charge Controller*. [En línea]. [Consultado el 30-agosto-2019]. Disponible en internet: <https://fs-snat.en.made-in-china.com/product/QBYnahEJOVK/China-30kw-Three-Phase-Solar-Inverter-with-Built-in-Solar-Charge-Controller.html>
- [28] DESCONOCIDO, *EVTV Monitor/Controller for Tesla Model S Battery Modules*. [En línea]. [Consultado el 31-agosto-2019]. Disponible en internet: <http://media3.ev-tv.me/TeslaModuleController.pdf>
- [29] IFOR WILLIAMS TRAILERS, *Box Van Bracket BV Brochure*. [En línea]. [Consultado el 1-septiembre-2019]. Disponible en internet: <https://www.iwt.co.uk/products/box-van/box-van-braked/?tab=brochures#tab>
- [30] EUROPA CAMIONES, *Semirremolque Asca de 1 eje usado*. [En línea]. [Consultado el 1-septiembre-2019]. Disponible en internet: <https://www.europa-camiones.com/semirremolque-asca-furgon/1-eje-alpes-de-haute-provence/ts-vi3340266/usado.html>
- [31] MITECO, Ministerio para la Transición Ecológica, *Factores de emisión: Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono*. [En línea]. [Consultado el 3-septiembre-2019]. Disponible en internet: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-479095.pdf
- [32] EDELSTEIN, Stephen, *Tesla Model 3 will benefit from lowest battery cost of any maker: Jefferies*. [En línea]. [Consultado el 3-septiembre-2019]. Disponible en internet: https://www.greencarreports.com/news/1100183_tesla-model-3-will-benefit-from-lowest-battery-costs-of-any-maker-jefferies
- [33] RS COMPONENTS LTD., *Cables de conexión Alpha Wire 3079 SL001*. [En línea]. [Consultado el 4-septiembre-2019]. Disponible en internet: <https://es.rs-online.com/web/p/conductores-de-interconexion-cables-para-equipos/1214302/>
- [34] RS COMPONENTS LTD., *Cable para Equipos TE Connectivity 100G0111-0.75-6*. [En línea]. [Consultado el 4-septiembre-2019]. Disponible en internet: <https://es.rs-online.com/web/p/conductores-de-interconexion-cables-para-equipos/2441396/>
- [35] QUECOHEMECOMPRO, *TOYOTA LANDCRUISER 2.8D-4D 130 kW GX*. [En línea]. [Consultado el 4-septiembre-2019]. Disponible en internet: <https://www.quecohemecompro.com/precio-version/toyota-land-cruiser-28d-4d-130kw-gx/>
- [36] ENDESA, *Endesa instalará más de 100.000 puntos de recarga para vehículos eléctricos en los próximos 5 años*. [En línea]. [Consultado el 5-septiembre-2019]. Disponible en internet: <https://www.endesa.com/es/prensa/news/d201811-endesa-instalara-puntos-de-recarga-para-vehiculos-electricos.html>